

مهندس إستشارى
محمد أحمد السيد خليل

ISO
9002
Certificate No. 82210
03 / 05 / 2001



المكتبة الأكاديمية
شركة مساهمة مصرية

إعـــداد الميـــاه

للشرب والإستخدام المنزلي

إعداد المياه
للشرب والإستخدام المنزلي

مهندس إستشاري

محمد أحمد السيد خليل



الناشر

المكتبة الأكاديمية

شركة مساهمة مصرية

٢٠٠٣

حقوق النشر

الطبعة الأولى ٢٠٠٣م - ١٤٢٣هـ

المكتبـة الأكاديميـة

شركة مساهمة مصرية

رأس المال المصدر والمدفوع ٩,٩٧٣,٨٠٠ جنيه مصرى

١٢١ شارع التحرير - الدقى - الجيزة

القاهرة - جمهورية مصر العربية

تليفون : ٧٤٨٥٢٨٢ - ٣٣٦٨٢٨٨ (٢٠٢)

فاكس : ٧٤٩١٨٩٠ (٢٠٢)

تقديم الكتاب و محتواه

لقد كان الدافع إلى تناول موضوع إنتاج المياه لأغراض الشــرب والاســتخدام المنزلي هو حاجة المكتبة العربية لمزيد من هذه الإصــدارات لتواكــب التقنيــات الحديثة فى مجال التصميم والصيانة والتشغيل، وبما يفيد العاملين فى هذا المجـــال وكذلك الدارسين والباحثين. وقد تم اعداد المرجع فى سبعة أبواب.

الباب الأول :- المعايير والدلائل للمياه الصالحـــة للشــرب والاســتخدام المنزلى.

الباب الثانـــى :- تنقية المياه للشرب.

الباب الثالـــث :- طرق الترسيب للمواد الصلبة العالقه.

الباب الرابـــع :- التخلص من المواد العالقه بالترشيح.

الباب الخامس :- المعالجات الخاصة.

الباب السادس :- تطهير المياه.

الباب السابع :- تحلية المياه المالحة.

١ – فى الباب الأول

تم مناقشة المعايير التى أعدتها وزارة الصحـــة ووردت فـــى قـــانون البيئـــة ١٩٩٤/٤ بخصوص الحدود القصوى للملوثات فى المياه لتكون صالحـــه للشـــرب والاستخدام المنزلى ومقارنتها بالدلائل التى اعدتها منظمة الصحة العالمية. حيث تم استعراض الخواص الطبيعية ومنها اللون والطعم والرائحـــة، والعكـــارة والرقـــم الهيدروجيني ودرجة الحرارة فى القسم الاول.

وفى القسم الثاني: تم مناقشة المواد الغير عضوية في مياه الشرب ذات التـأثير على الاستساغة والاستخدام المنزلي والتي ليس لها تأثير علـى الصحـة العامـة وشملت الأملاح الكلية المذابة، الحديد، المنجنيز، النحاس، الزنك، العسـر الكلـى، الكبريتات، الكلوريدات، الصوديوم، الألومنيوم.

وفى القسم الثالث: تم مناقشة المواد الغير عضوية ذات التأثير علـى الصحـة العامة والتي شملت الرصاص، الزرنيخ، السيانيد، الكادميوم، السيلينيوم، الزئبـق، الكروم، النترات، النيتريت، الفلوريدات، الفضة، النيكل، البريليوم، الأسبستوس.

وفى القسم الرابع: نوقشت المواد العضوية ذات التأثير على الصحـة العامـة وهى مبيدات الهوام، البنزينات المكلورة وكيماويات أخرى، الميثانـات المكلـورة، أحماض الخليك المهلجنه.

وفى القسم الخامس: تناول الاشعاعات النووية فى مصادر المياه السـطحية او الجوفيه.

وفى القسم السادس: الملوثات من الكائنات الحية الدقيقة. حيث تم اسـتعراض مخاطرها على صحة الانسان بما تسببه من أمراض وبائيه. ثـم التعـرف علـى انواعها والكشف عنها وحدودها القصوى فى مياه الشرب.

وعند مناقشة هذه الملوثات تم استعراض مدخولها اليومى من الهواء والغـذاء ومياه الشرب والذى قدرت على اساسه الدلائل التى اعدتها منظمة الصحـة العالميـة. كما تم مناقشة مصادر هذه الملوثات ووصولها الى المياه سواء لمصادر الميـاه او للمياه المعدة للشرب مما تتطلب الاشارة الى اهمية المحافظة على مصـادر الميـاه السطحية والجوفية من التلوث وكذلك الحد من الملوثات فى شبكات الامـداد لميـاه الشّرب والخزانات.

٢- الباب الثانى: تنقية المياه للشرب

فى القسم الاول:- تم استعراض تقنيات ازالة المواد العالقه من مياه المجـارى العذبة حيث تم مناقشة انواع المآخذ وأهمية العناية بتصميمها للمحافظة على نوعيـة

المياه طبقا للتغير فى المنسوب او التغيرات الموسمية فى نوعية المياه مع الإشـــارة الى بعض انواع المآخذ. كما تم استعراض القواعد النظرية لترسيب المواد الصلبـــة العالقه طبقا للحجم والكثافة النوعية ونوع المادة وذلك بالترسيب الحر. حيث بـــرز اهمية اضافة كيماويات الترويب ومساعدات الترويب لاختصار زمن الترسيب مـــن عدة ايام الى بضع ساعات لبعض المواد وخاصة للمواد الهلاميه والتى لا ترســـب اطلاقا بالترسيب الحر بدون استخدام كيماويات ومساعدات الترويب وهى المســـببة للّون والعكارة.

وفى القسم الثانى:- تم اســـتعراض الكيماويـــات المســـتخدمة فـــى الـــترويب ومساعدات الترويب وشملت كبريتات الالومنيوم (الشـــبه) وكبريتـــات الحديـــدوز، املاح الحديد الأخرى، ألومينات الصوديوم، الجـــير المطفـــى وكذلـــك البلمـــرات المستخدمة كمساعدات الترويب. وهذا بالإضافة الى الإشارة لخصائص وضوابـــط استخدام كل من هذه الكيماويات بما يحقق الإزالة للعكارة وبما لا يضـــر بالصحـــة العامة، مع كيفية تعيين الجرعة المناسبة من اى من هذه المروبات لإزالة العكارة ثم اعطاء امثلة حسابية لتقدير حاجة المياه العكرة من هذه المروبات. مع الاخـــذ فـــى الاعتبار معرفة قلوية المياه الخام.

٣- البــاب الثالث : طرق ترسيب المواد الصلبة العالقه

القسم الأول:- تناول تجهيز كميات الخلط السريع والخلط البطـــئ، تجـــهيزات التغذيه بكيماويات الترويب ثم طرق الخلط السريع والخلط البطئ لتكوين الزغبـــات القابلة للترسيب الحر. كما تم استعراض نماذج لأحواض الخلط البطئ وكيفية الخلط السريع بالطرق الهيدروليكية والميكانيكية والاستانيكية.

وفى القسم الثانى:- نوقشت أحواض الترسيب وانواعها ســـواء المســـتطيله او الدائرية وكفاءة الترسيب فى احواض الترسيب وحسابات أبعاد حـــوض الترســـيب طبقا لتدفقات المياه ومن واقع التحميل السطحى لكل نوع من احـــواض الترســـيب. كما تم مناقشة اختبارات الترسيب، والمداخل والمخارج لأحواض الترســـيب وأثـــر

خواص المياه على تصميم احواض الترسيب وكذلك امثلـــة استرشـــاديه لتصميـــم احواض الترسيب.

وفى القسم الثالث:- تم تناول الترسيب بالأسطح المائلة والأنابيب المائلة وهـــى ضمن التقنيات الحديثة للترسيب هذا بالاضافة الى تناول الترسيب والحجز للمــــواد العالقة باستخدام المروقات ذات طبقة الروبة العالقة او الســـابحة وكذلـــك عمليـــات الترويق الخاصة باستخدام الهواء المضغوط. وتم اســـتعراض رســـومات وقواعـــد التصميم لهذه التقنيات.

٤- الباب الرابع : التخلص من المواد العالقة بالترشيح

القسم الاول:- الترشيح الرملي البطيء، نظرية ومبـــادئ التشـــغيل للمرشـــح الرملي البطيء وحالات استخدامه وكفاءته فى ازالة الملوثات من الكائنـــات الحيـــة الدقيقة بالإضافة الى الاعتبارات والقواعد التصميمية للمرشح الرملي البطئ.

القسم الثاني:- تناول الترشيح الرملى السريع. حيث تم استعراض اســـتعمالاته وأنواعه وكذلك نظرية العمل للمرشح الرملى السريع ونظـــام التشـــغيل والتحكـــم بالإضافة الى الاعتبارات التصميمية وكيفية تنظيم الغسيل العكسى. ثم المخطط العام لمحطة تصميم تنقية مياه الشرب باستخدام المرشح الرملي السريع.

وفى القسم الثالث:- تم استعراض مواد الترشيح وتعاريفها مثل القطر المؤثـــر ومعامل التجانس وكيفية عمل الاختبار للرمل والزلط طبقا للمواصفـــات. وأخـــيرا كيفية وضع وإنشاء الوسط الترشيحى.

٥ – البـــاب الخامس : المعالجات الخاصــه

فى القسم الأول :- ازالة عسر المياه بالترسيب الكيماوى باستخدام لبن الجـــير او الصودا آش ولبن الجير، وحالات اسخدام المروبات وكلوريدات الكالسيوم فـــى ازالة العسر للمياه او تخفيضه ليصل الى المعايير المقررة فى مياه الشـــراب هـــى حوالى من ٨٥- ١٢٠ مل جرام / لتر مقيم ككربونات الكالسيوم.

وفى القسم الثانى:- تم مناقشة ازالة العسر بالتبادل الايونـــى وكذلــك ازالـــة الاملاح بالتبادل الايونى وازالة القلوية بالتبادل الآيونى.

وفى القسم الثالث:- التهوية، نظرية انتقال الغازات وذلك بهدف توضيح اثـــر التهوية فى إذابة اكسجين الهواء الجوى فى الماء لتحسين المذاق وخاصة بالنســـبة للمياه الجوفية وكذلك التخلص من الغازات المذابة المسببة للرائحة والمـــذاق مثـــل غاز كبريتيد الهيدروجين وثانى اكسيد الكربون. كما تم استعراض تجهيزات التهوية ومبادىء التصميم للانواع المختلفة ومنها التهوية بالرش او الترزير، التهوية بتساقط المياه، التهوية بفقاعات الهواء، التهوية بالهواء المضغوط، نشر الهواء بالاضافة الى الضوابط وحدود استخدامات التهوية فى معالجة المياه.

وفى القسم الرابع:- ازالة الحديد والمنجيز من مياه الشرب والاستخدام المـنزل حيث تم تناول الآثر السلبى لهذه المواد وحدودها القصوى وكذلك أثرها على المذاق والشكل العام لمياه الشرب والتعرف على حالات وجود الحديد والمنجيز فى مصادر المياه السطحيه والجوفيه فى الشكل المذاب والغير مذاب وديناميكا التفاعل لامـــلاح الحديد والمنجيز المذابه مع أكسجين الهواء الجوى ولتتحول الى المركب المـــذاب ليسهل ترسيبه وترشيحه وعزلة وكذلك استخدام الهواء الجوى والمؤكسدات الآخرى مثل الكلور وبرمنجنات البوتاسيوم ثم القواعد التصميمية لوحـــدات إزالـــة الحديـــد والمنجنيز من مياه الشرب و الاستخدام المنزلى.

وفى القسم الخامس: التخلص من المواد المشـــعه والكيماويـــه ذات التركـــيز المنخفض جدا، حيث تم استعراض تقنيات ازالة المواد المشعه والكيماوية وكذلـــك تقنيات المعالجة المختلفة لأزالة الأنواع المختلفة من الملوثات. وازالة التركـــيزات المنخفضه جدا من المواد العضويه والغير عضويه.

٦- الباب السادس : تطهيـر المياه

ويشمل تطهير المياه لقتل الكائنات الحيه الدقيقة باستخدام كيماويـــات التطـــهير مثل الكلور والأوزون والمؤكدات الأخرى والأشعة فوق البنفسجية واضافة الفلـــور الى الماء.

وفى القسم الأول:- تم تناول الكلور كمطـــهر رئيســى وذلــك باســتعراض خصائصه الطبيعيه والكيماوية ومركبات الكلور فـــى المــاء والأثــر البيولوجــى والكيماوى للكلور فى الماء وأماكن ونقاط استخدام وحقن الكلور. ومركبات الكلــور المختلفة وكفاءتها فى التطهير. وتفاعلات الكلور ومركبات الكلور مع المواد المذابه فى الماء العضويه والغير عضوية.

وفى القسم الثانى:- تم التعرف على خصائص الأوزون وإنتاجه وإيجابياته فــى القدرة العاليه للآكسدة والتطهير مقارنة بباقى المطهرات وكذلك سلبياته لعدم وجــود متبقى بعد فترة من ٥-١٥ دقيقة بما لا يحقق التطهير للشبكة الحامله لمياه الشــرب ثم حالات اضافة الفلور للماء.

٧- *البـــاب السابع : تحلية المياة المالحة*

فى هذا الباب تم تناول تقنيات التحلية او ازالة الأملاح المذابـــة مــن الميــاه المالحة وهذه شملت التحلية باستخدام اغشية التناضح العكسى، الفصـــل الكيمــاوى الكهربى (الاليكتروديااليسيس) ثم الترشيح الفائق وتقطير المياه (التحلية الحرارية).

فى القسم الاول :- التعاريف.

فى القسم الثانى :-التحلية بالتناضح العكسى حيـــث تــم اســتعراض نظريــة التناضح العكسى ومواد الاغشية المستخدمة واشكالها. والمعالجة للمياه الخام قبـــل التحلية وامكانيات المعالجة بالتناضح العكسى.

فى القسم الثالث:- تم استعراض التحلية بالتحليل او الفصل الكيميائى الكــهربى (الاليكتروديااليسيس)E/D وكذلك طريقة عكس وتبديل الاقطاب ED/R. وخصـــائص الاغشية المستخدمة والاعتبارات التصميمية.

القسم الرابع:- الترشيح الفائق وانواع وحالات استخدام الاغشية فى الترشـــيح لازالة الملوثات طبقا لحجمها ووزنها الجزيئ وتكافؤها.

فى القسم الخامس:- شمل تحلية المياه بالتقطير (التحلية الحرارية) باســـتخدام المبخر السريع، المبخر متعدد التأثير، مبخـــر اعــــادة ضغــط البخـــار، ازالـــة

الترسيبات، المعالجة النهائية للمياه المحلاه لتكون صالحة للشرب والاستخدام المنزلى.

بهذا يكون تم مناقشة جميع التقنيات الخاصة بمعالجة المياه لأغراض الشرب الاستخدام المنزلي من مختلف مصادر المياه السطحيه العزبه والجوفيه والمالحة وذلك سواء فى مجال ازالة المواد العالقه والعكارة أو ازالة الملوثات من المواد المذابة او الكائنات الحية الدقيقة. وذلك بالاستعانة بالاصدارات التى تنشرها الهيئات الدولية ذات الاهتمام بمياه الشرب ومنها اتحاد اعمال المياه الأمريكى -AWWA) American Water Works Assiocion) ومنظمة الصحة العالمية والدوريات والمراجع التى اهتمت بنشر الحديث فى تنقية المياه لأغراض الشرب سواء من المصادر السطحية او الجوفية وكذلك المياه العذبه والمياه المالحة، بهدف زيادة القدرة للكوادر المختلفة على الصيانة والتشغيل لكل من هذه التقنيات الحديثة والتفهم العميق لقواعدها العلمية والتطبيقية ولقد كان هذا هو الدافع إلى إعداد هذا المرجع.

و أرجو من الله العلي القدير أن يحقق ما نبغيه ،،،،،

و اللـه الموفق،،،

المؤلف

مهندس إستشارى

محمد أحمد السيد خليل

فهرست الموضوعات

مقدمة الكتاب

اثر المياه فى حياة الإنسان

الماء هو عصب الحياة فهو اساس الحياه لكـــل الكائنـــات الحيـــه (الانســـان، الحيوان، النبات). وصدق الله العظيم حيث يقول "وجعلنا من الماء كل شئ حـــــى". وبدون الماء لا تستمر الحياة ولهذا فان القاعدة منذ بدء الخليقة اينما يعيش الانســـان يوجد مصدر للمياه. الماء هو اهـــم المواد الطبيعية على كوكـــب الارض فكمياتـــه ثابته وان تغيرت بين العذب والمالح والسطحية والجوفية. تمثل المسطحات المائيـــة ٨٠% من سطح الكره الارضية والتى تقدر بالميل المكعب. ففى البحار والمحيطات ٣١٧ مليون ميل مكعب والثلوج الجليدية ٧,٣ مليون ميل مكعب، البحيرات المالحـة ٢٥ الف ميل مكعب، الانهار ٤١١ الف ميل مكعب، مياه البحيرات العذبة ٣٠ الـف ميل مكعب، المياه الجوفية مليون ميل مكعب، التربة الغير مشبعة ١٦ الـــف ميـــل مكعب، مياه البخار فى الجو ٣,١ الف ميل مكعب. وتمثل نسبة الميـــاه ٧٥% مـــن وزن جسم الانسان، ٨٠% من معظم الخضروات. وفى نفس الوقت فان المياه هـــى من مسببات ٨٠% من الامراض فى العالم كله.

المياه تسير طبقا للظروف المناخية كمياه الامطار والطبوغرافية كمياه الانـــهار والهيدرولوجية كالمياه الجوفية وذلك خارج الحدود السياسية والاقليميه للتقســـيمات الارضيه. الماء هو السائل الوحيد الذى يوجد فى الحالة السائلة والصلبة والغازيـــة فى نفس الظروف البيئية. الماء يسمى المذيب العالمى لتفوقه وقدرته فى اذابة معظم المواد عن اى مذيب اخر. الماء يحد من التغيرات الحادة فى حـــرارة الجـــو كمـــا يحافظ الماء فى جسم الانسان على درجة حرارة الجسم. يمكـــن للمـــاء الاحتفـــاظ بدرجة الحرارة واطلاقها عن اى سائل اخر (عدا سائل النشادر). الـــهواء الجـــوى

يحتوى على ٢% الى ٤% بالحجم من الماء طبقا لقربه من المسطحات المائية حيث تتغير تبعا لذلك درجة الرطوبة وبخار الماء فى الهواء والذى هو مصـــدر سـقوط الامطار. بخار الماء يعكس كثيرا من الحرارة التى تنبعث من اشعة الشــمس الــى الفضاء و يحتفظ بجزء اخر من الحرارة ويعيد انعكاسها على ســطح الارض مــع الاحتفاظ بجزء اخر فى الجو. وهذه الظاهرة توفر غلاف دافئ حول سـطح الارض وذلك على عكس التغير اليومى الحاد الذى يحدث على سطح القمر حيث تتـــأرجح درجة الحرارة ما بين –١٧٣°م الى ١٢٣٠°م. وبخار الماء فى الجو لـــه وظــائف اخرى وهى حجز الموجات القصيرة من الاشعة فوق البنفسجية التى تنبعـــث مـــن الشمس وتتلف شبكية العين وكذلك تصيب جلد الانسان بالسرطان.

بخار الماء هو الغاز الوحيد الذى يتكثف فى درجة الحرارة العادية ولهذا يعتبر المصدر الوحيد لانتاج الطاقة. عند تحول جرام من البخار الى الماء ثم الى الثلـــج ينتج عنه ٧٢٠ سعرا حراريا. وعند التحول العكسى من الثلج الى البخار يمتـــص ٧٢٠ سعرا حراريا ولهذه الظاهرة تحدث حالة الاتزان في درجة حرارة الأرض.

السعة التخزينية الحرارية للماء كبيرة حيث يلزم ١٠٠ سعر حراري لتحويـــل جرام واحد من الماء الى درجة الغليان (١٠٠°م) ولكن لجعل الماء في حالة غليـــان لانتاج البخار يلزم ٥٤٠ سعرا حراريا وهذا يبين الطاقه التخزينيه الكبيره للبخـــار نظـــرا لإحتوائه على طاقة ٥,٤ ضعف الماء. الهواء المحمل ببخار المـــاء أخـف وزنا من الهواء الجوي وذلك نظرا لأن الوزن الجزيء للماء ١٨ وللأكســجين ٣٢ وللنيتروجين ٢٨. ونظرا لانخفاض درجة الحرارة كلما بعدنا عـــن ســطح الأرض فإن الهواء المحمل ببخار الماء يصعد حتى يصل إلى درجة التجمد. والماء يتجـــدد طبيعيا بواسطة البخر وسقوط الأمطار. تصل أقصى كثافة للماء عند درجة حـــرارة ٤°م والتي هي اكبر من تجمد الماء، ولذلك فإن المسطحات المائية في المناخ البارد تكون مغطاه بطبقة من الثلج الخالية من الأملاح واسفلها مياه مالحة. تحدث زيـــادة في حجم المياه عندما تتجمد ففي الأجواء الباردة تتأرجح درجة حرارة الجو حـــول درجة تجمد المياه في أوقات كثيرة بما يجعل المياه فـــي الشـــقوق الصغـــيرة فـــي

الصخور تتجمد والقوة الناتجة عن زيادة حجم الماء بعد تجميده تعمل على زيادة الشقوق وتدمير اكثر الصخور صلابة وتفتتها.

الماء مركب أيونى له شحنة موجبة من أيون الهيدروجين (H+) وشحنة سالبة من أيون الإيدروكسيد (- OH) الماء فى الطبيعة يحتوى على نسب متفاوتة من الأملاح المذابة والتي تحدد عذوبة المياه وملوحتها. الأملاح المذابة فى الماء وطبيعة تركيبه الأيونى يساعدا على نقل الشحنة الكهربائية وهذه الخاصية هي المسببة لظاهرة التآكل (صدأ) لمعظم المعادن المعرضة للمجال الرطب حيثما يتوفر الهواء الجوى أو الأكسجين المذاب فى الماء. الماء هو المصدر الرئيس لإنتاج الطاقة النظيفة والاقتصادية ولذلك فقد استغلت مساقط المياه الطبيعية كما أنشئت المساقط الصناعية كالسدود لإنتاج الطاقة الكهربائية. تكلفة إنتاج الطاقة من سقوط المياه تعادل نصف تكلفتها باستخدام الوقود من الفحم أو الغاز أو زيت البترول كما تعادل ثلث تكلفة الطاقة من المحطات النووية. كما يستفاد من حركة الأمواج وارتفاع درجة الحرارة في قاع البحار والمحيطات في انتاج الطاقة الجديدة والمتجددة.

المياه هي العامل الأساسي للزراعة وكذلك المصدر الوحيد للإرتواء بمياه الشرب للإنسان والحيوان والطيور كما ان المياه وسيلة جيدة واقتصادية للنقل وتشمل الاستخدامات الاخرى للمياه عمليات التسخين والتبريد. والمياه تستخدم في العمليات الصناعية المختلفة سواء لدخولها فى مكونات المنتج النهائى او للإزابة او لاتمام التفاعلات او للنظافة اوللاطفاء.

المياه فى المجارى السطحية تكون عزبة وملوحتها ما بين ٢٠٠ الى ١٠٠٠ جزء فى المليون وهى الصالحة للشرب وللإستزراع. مياه البحار والمحيطات تتراوح ملوحتها ما بين ٢٠٠٠٠-٥٠٠٠٠ جزء فى المليون ومياه البحيرات امـا ان تكون عزبة او مالحة او مملحة (Brakish) وهذه ذات ملوحة من ٢٠٠٠ الى ١٠٠٠٠جزء فى المليون. المياه الجوفية إما عزبه او مالحة وكقاعدة فالخزانات الجوفية المالحة تكون قريبة من شواطئ البحار وتتدرج فى الإنخفاض فى التربة الحاملة للمياه تحت منسوب سطح البحر كلما بعدت عن الشاطئ، وقد تصل المياه

الجوفية الى مسافات بعيده جدا طبقا لتفازية التربة ومعدل الإنتقال للمياه وخاصة اذا كانت تعلوها طبقة صماء غير منفذة تحدد مسار الخزان الجوفى المـــالح. وكذلـــك بالنسبة للمياه الجوفية العزبة، فالقاعدة أن المياه الجوفية العزبة تعلو المياه المالحـــه الأكثر كثافة ويتدرج سمك الطبقة الحاملة للمياه العزبة فى الانتقاص كلما قربنا مـــن الشاطئ البحر وبالتالى يتدرج سمك الطبقة المالحة فى الزيادة. ولاتتـــأثر ملوحـــة المياه الجوفية بمياه البحر فقط ولكن التكوينات الجيولوجية للتربة الحاملة للخـــزان الجوفى. فقد تكون المياه مالحة بدرجات متفاوتة فى حالـــة وجودهـــا فـــى التربـــة المحتويه على الملح الصخرى (كلوريد الصوديوم) والذى يذوب فى المياه الجوفيـــه العزبة ويحولها الى مياه مالحة. وفى بعض أنواع التربـــة توجـــد أمـــلاح الحديـــد والمنجيز المذابة فى المياه الجوفية وكذلك أملاح الكالسيوم والمغنسيوم. ويرجع ذلك الى تحلل المواد العضوية والهلامية والكائنات الحيه الدقيقة والملوثـــات العضويـــة عموما التى تحملها المياه السطحية أثناء تسربها الى جوف الأرض لتغذية الخـــزان الجوفى. ونتيجة التحلل للملوثات العضوية تنتج مركبات كيماوية بسيطة منها ثـــانى أكسيد الكربون والذى يذيب أملاح الحديد والمنجيز والكالسيوم والمغنســـيوم التـــى تكون فى شكل مركب الكربونات الغير مذاب وتحولها الى مركـــب البيكربونـــات المذاب فى الماء وذلك طبقا لنوع التربه الحاملة للمياه الجوفية. ففى التربة الجيريـــه تطهر أملاح العسر من الكالسيوم والمغنسيوم أما التربة من الحجر الرملى والتربـــة الطفليه فتظهر أملاح الحديد والمنجيز. وقد تتخلص المياه السطحيه أثناء رحلتها الى الخزان الجوفى من بعض العناصر الثقيله المذابة المســـببة للامـــراض وتســـتبدلها بعناصر أخرى من أملاح التربة الغير ضارة وذلك بطريقة التبادل الأيونى.

الماء هو السائل البيولوجى الأول فهو يسهل تفاعلات تحول الطعام الى طاقـــة وخلايا جديدة. وهو كذلك وسيلة انتقال الملوثات من والى جسم الإنسان وهو المجال الذى يعمل بتبريد الجسم من خلال الشهيق والزفير والعرق. الماء هو الـــذى يقـــوم بدور كبير فى عملية التمثيل الضوئى حيث يتحد الماء مع ثانى أكســـيد الكربـــون، باستخدام طاقة الشمس مكونا المادة الكربوهيدراتية فى النباتـــات الخضـــراء مـــع انطلاق الأكسجين فى نفس الوقت بما يحافظ على مستوى الأكســـجين فـــى الجـــو لتعويض المستهلك بواسطة كل الكائنات الحية، وفى نفس الوقت خفض ثانى أكيـــد

الكربون الموجود فى الجو بما يحد من التلوث الجوى الناتج عن انبعاثات هذا الغاز نتيجة احتراق المواد الكربونية، وعملية التمثيل الكلورفيللـــى هــذه توفــر كذلــك الأكسجين المذاب فى المسطحات المائية لتعويض الأكسجين المستهلك فى عمليـــات التحلل البيولوجى للمواد العضوية وبذا يسهل عملية المعالجة الذاتيـــة للمســطحات المائية وكذلك المحافظة على حياة الكائنات المائية. واذا كانت المياه هى الأســـاس فى حياة الانسان بالاضافة الى ما توفــره كمصدر للاستمتاع والرياضة والترفيـــه، إلا أن المياه هى المسببة لمعظم الأمراض وذلك فى حالة تلوث الميـــاة بالكائنـــات الحيه الدقيقة المسببة للأمراض الوبائية أو بالعناصر الثقيلـــة المســببة للأمــراض المزمنة أو بالملوثات الأخرى التى تحد من استســـاغة الميــاه للشــرب أو عـــدم صلاحيتها للاستخدام المنزلى، هذا بالاضافة الى أن عدم توفر المياه بالقدر المناسب لأغراض النظافة العامة يسبب أمراض الجلد والعين. واذا كان الهدف هو المحافظة على صحة الإنسان فان مخاطر المياه لاتقف عند تلوث مياه الشرب فقط حيـــث ان الملوثات قد تصل الى مصادر غذائه من حيوان ونبات وطيور والتى ترتوى بـــهذة المياه الملوثة ولهذا يبـــرز أهمية المحافظة على سلامة البيئية المائية فـــى مصـــر سواء بالنسبة للمياه السطحية أو الجوفية وبما يؤدى كذلــك إلـــى خفــض تكـــاليف المعالجة للمياه عند انتاجها لأغراض الشرب والاستخدام المنزلى، وذلك على ضوء زيادة الملوثات بأنواعها المختلفة مع زيادة الأنشطة التنموية والصناعية واســـتخدام المبيدات والكيماويات.

الباب الأول

المعايير والدلائل للمياة الصالحة للشرب والاستخدام المنزلي

مقدمة الباب الأول

المعايير والدلائل للمياه الصالحة للشرب والاستخدام المنزلي

أعدت منظمة الصحة العالمية دليل لجودة مياه الشرب لتحديد المعايير طبقا للأحوال البيئية والاجتماعية والثقافية السائدة فى المجتمع. ويقوم بإعداد هذا الدليل الذي يتم تحديثه كل عشر سنوات برنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNED)، ومنظمة العمل الدولية (ILO) ومنظمة الصحة العالمية (WHO) تحت رعاية البرنامج الدولي للسلامة الكيميائية (IPCS). والهدف من هذا الدليل هو تقييم أثر المواد الكيماوية على صحة الإنسان والظروف البيئية، مع تقدير حدود التعرض اليومي المقبول والحد الأقصى المسموح به للماء، والهواء، والغذاء، وبيئة العمل لمختلف الكيماويات بما فى ذلك المواد المضافة الى الطعام وكيماويات الصناعة والمواد الطبيعية المسببة للسميه واللدائن (Plastics) والمبيدات. وقد أعدت هذه الدلائل لوصف نوعيه المياه المناسبة للشرب فى مختلف الظروف. على أن تطبق عند وضع المعايير الوطنية طبقا لظروف كل مجتمع. وقد تؤثر الأولويات الوطنية والعوامل الاقتصادية فى تقدير المعايير إلا انه يجب ألا يسمح لاعتبارات السياسة العامة أو الرغبة فى التيسير بأي تهديد للصحة العامة.

إن احتمال التلوث الجرثومي وعواقبه الخطرة يؤكد أهمية مكافحته. وقد يرفض المستهلك مياه الشرب عالية الجودة والخالية من التلوث الجرثومي إذا كانت مرتفعة الملوحة، بينما يفضل عليها المياه التي يستسيغها ولو كانت بها ملوثات جرثومية. وعند اعداد المعايير الوطنية لمياه الشرب يؤخذ فى الاعتبار

المدخول الإجمالي من كل مادة عن طريق الهواء والغذاء والماء بفرض أن الفرد الواحد يستهلك لترين من الماء يوميا وذلك مع الاخذ فى الاعتبار التعرض المهني.

وتشمل القيم الدليلة الملوثات الجرثومية من الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض الوبائية، وكذلك الملوثات من المواد العضوية والغير عضوية والتي تسبب زيادتها عن المعايير المقررة أمراض تضعف كفاءة الأداء الفسيولوجي للأعضاء مثل أمراض الكلى والكبد والجهاز الهضمي وخلافه. كما تشمل الدلائل اعتبارات خاصة باستساغة المياه وقابليتها للشرب وصلاحيتها للاستخدام المنزلي وان كانت هذه الاعتبارات ليس لها آثار ملموسة على الصحة العامة. وعند وضع المعايير لمياه الشرب استرشادا بالقيمة الدليلة يجب أن يصاحبها القرارات المتعلقة بكفاءة وضمان تنفيذها. وضع المعايير وإصدار القرارات هي مسئولية وزارة الصحة لما للمياه من أثر كبير على الصحة العامة.

ومن القرارات الهامة هي الموافقة على المصادر الجديدة لمياه الشرب وإنشاء وتشغيل مرافق المياه وعند اختيار مصدر المياه سواء من المجاري السطحية أو من الخزانات الجوفية حيث يلزم التأكد من استمرار الصلاحية وتوفير المياه من المصدر مع التغيرات اليومية والموسمية والزيادة المستقبلية للسكان. وكذلك مدى ملاءمة نوعية مياه المصدر للمعالجة بالطرق التقليدية لتوفير مياه الشرب طبقا للمعايير المقررة. وكذلك حماية المصدر المائي من التلوث بمياه الصرف الصحي والصناعي والزراعي حاليا وفي المستقبل. كما يجب الفحص وعمل التحاليل الطبيعية والبيولوجية والكيميائية لمياه المصدر لمدة مناسبة تغطي الاختلافات الموسمية التي قد تحدث تغير في نوعية المياه.

وفي الأحياء الفقيرة والمناطق العشوائية داخل المدن توجد مشاكل خاصة في الحفاظ على نوعية مياه الشرب، وذلك رغم وجود هذه المناطق والأحياء في نطاق شبكة توزيع المياه أو بالقرب منها، ولكن الكثافة السكانية العالية وعدم توفير التوصيلات للمنازل وتقطع الإمداد وانخفاض ضغوط الضخ في الشبكة والتسرب وعدم وجود شبكة للصرف الصحي. كل ذلك يجعل مياه الشرب معرضة لأخطار التلوث. ولذا يجب أن تعطي هذه المناطق الأهمية الخاصة في الإمدادات بالمياه

الآمنة مع زيادة المتابعة للرصد البيئي والتأكيد على استمرار صلاحية المياه للشرب.

وتعتبر المعلومات عن المصدر وتقنيات المعالجة وشبكة التوزيع وكفاءة القائمين على الصيانة والتشغيل أساسية. وذلك لان التحليل الكيميائي والبيولوجي للعينات يمثل الموقف في لحظة زمنية معينة، وتظهر نتائج التحليل بعد وقوع الحدث. وكثيراً ما يكون التلوث عشوائيا ومتقطعا وقد لا تكتشف العينات التي تختبر طبقا لخطة، حيث تظهر نتائج الاختبارات البيولوجية التقليدية بعد ٢٤ ساعة في حين قد يكون المجتمع خلال هذه الفترة في خطر. ولذلك فإن اختبار الكلور المتبقي (Residual Chlorine) يعتبر تقييم سريع وسهل الإنجاز، كما أنه مؤشر جيد على سلامة المياه في المحطات والشبكات والخزانات من التلوث البيولوجي. الملوثات الكيماوية لا تصحبها في العادة أثار فورية حادة، ولذا فإن ذلك يضعها في مرتبة تالية من حيث الأسبقية للملوثات البيولوجية التي قد يكون لها تأثير فوري وجسيم.

والقيم الدليلة للملوثات الكيميائية تتعلق بمستوى متوسط من التعرض فالزيادة العارضة القليلة تعتبر مقبولة. ويلزم دائما اتخاذ إجراء فوري إذا كانت هناك شواهد على تلوث مياه الشرب بالصرف الصحي. وفي هذه الحالة يكون الأمر بغلق مصدر المياه مع توفير مصدر بديل لحين عمل الإصلاحات اللازمة. وفى حالة عدم توفر البديل تعطى التعليمات المشددة للمستهلكين بغلي الماء، مع البدء فى زيادة الكلور للمياه المعالجة الخالية تماما من العكارة، حيث المياه العكرة المكلوره تمثل خطراً جرثومياً نظراً لعدم كفاءة الكلور فى قتل الكائنات الحية الدقيقة التي تختبئ فى المواد الصلبة العالقة (العكارة).

وقد أصدرت وزارة الصحة القرار رقم ١٠٨ لسنة ١٩٩٥ بشأن المعايير والمواصفات الواجب توافرها فى المياه الصالحة للشرب والاستخدام المنزلي والتي أقرتها اللجنة العليا للمياه فى ١٩٩٥/٢/٢٦ استرشادا بالقيم الدليلة لمنظمة الصحة العالمية والتي تشمل الخواص الطبيعية والمحتوي من المواد العضوية والغير عضوية والكائنات الحية والتي لها تأثير على صلاحية المياه للشرب والاستخدام المنزلي.

القسم الأول

الخواص الطبيعية لمياه الشرب والتى تشمل اللون، الطعم، العكارة، الرقم الهيدروجينى ودرجة الحرارة

١-اللون :

ويرجع اللون إلى التلوث بالمواد العضوية أو الغير عضوية. والألوان من المواد المذابة لا يمكن التخلص منها بالترشيح أما الألوان الناتجة عن المواد العالقة (مثل أملاح الحديد والصدأ) فيمكن إزالتها بالترسيب والترشيح. والألوان التي لا تزال في المرشحات الرملية مثل تلك الناتجة عن المواد العضوية المذابة في الماء يمكن أزالتها باستخدام الفحم المنشط عند إضافته للوسط الترشيحى، أو عند إضافة بودرة الفحم المنشط في مرحلة المعالجة باستخدام المروبات وخاصة عندما تكون عكارة المياه منخفضة. وحدود القياس للون هو ٢-٣ كحد أقصى بمقياس الكوبالت البلاتين.

٢-الطعم والرائحة :

طعم المياه هو الإحساس الناتج عن التفاعل بين اللعاب والمواد المذابة في الماء. وعند تذوق الماء تنشط حاسة التذوق والشم، ومن الصعوبة التفريق بينهما. ولذلك فإن كثيرا ما يصنف التأثير المشترك للطعم والرائحة على أنه الطعم. وعند تقييم جودة مياه الشرب يعتبر إحساسا الطعم والرائحة مكملين لبعضهما البعض.

ويمكن القول بصفة عامة أن حاسة الطعم تفيد في الكشف عـــن الملوثـــات الغـــير عضوية في مياه الشرب بينما حاسة الشم تفيد في الكشف عن الملوثات العضويـــة. والماء المحتوي على أملاح بتركيزات أعلى أو اقل من تلك الموجودة في اللعـــاب تستشعر حاسة التذوق بأنه مختلف عن اللعاب، ولذا فإن المـــاء المحتـــوى علـــى تركيزات قليلة من الصوديوم، الكلوريد، الكالسيوم، البيكربونات يبدو بدون طعـــم. والكلور المتبقي قد يخفى طعم الماء حيث يزداد الإحساس بحقيقة الطعم مع إزالـــة الكلور المتبقي كيميائيا. لذلك ينبغي أن يكون تركيز الكلور المتبقي (الحـــر) عنـــد صنبور المستهلك منخفضا بقدر كاف لتجنب مشكلات الطعم والرائحة وفي الوقـــت نفسه عاليا بما يضمن خلو المياه من الجراثيم. وتضفي كثيرا مـــن المـــواد الغـــير عضوية الذائبة في الماء طعما منفرا بتركيزات اقل من تلك التي تحـــدث تـــأثيرات سامه، ولحسن الحظ فان معايير الطعم للمواد الغير عضوية اقل بكثير بوجه عـــام من التركيزات المسببة للأضرار الصحية.

وفى حالة وجود طعم منفر للمياه قد يدفع المستهلك إلى مصادر بديلة والتي قـــد تخضع أو لا تخضع إلى نفس درجة الحماية الجرثومية للمياه المرفوضة وقد تـــدل التغيرات قصيرة الأجل فى الطعم على حدوث تغير فى نوعية ميـــاه المصـــدر أو قصور فى عمليات المعالجة أو التآكل الكميائى للمواسير أو نمو وتكاثر الكائنـــات الحية الدقيقة فى شبكة التوزيع أو الخزانات العلوية أو الأرضية أو المنزلية.

ومشاكل الطعم فى الماء قد تكون بسبب الأملاح الكلية المذابة وكذلك بســـبب وجود الحديد والمنجنيز والزنك. المياه المحتوية على أملاح كلية مذابة اقـــل مـــن ١٢٠٠ مليجرام /لتر يعتبر مقبولا للشرب ولو أنه من المفضل ألا يزيد عـــن ٦٥٠ ملجرام / لتر. وتوجد أملاح معدنية لها تأثير واضح على الطعـــم مثـــل كلوريـــد المغنيسيوم وبيكربونات المغنيسيوم ولكن الكبريتـــات مثـــل كبريتـــات المغنســـيوم والكالسيوم ليس لها تأثير على الطعم. وقد يكون الطعم والرائحة بسبب تلوث الميـــاه بالمواد العضوية المصنعة مثل رابع كلوريد الكربون وثنائى وثلاثى الكلوروإيثيليـــن ويظهر طعم الكلور فى الماء عند تركيز ٢ مليجرام / لتر فـــى المجـــال المتعـــادل والكلورامين عند تركيز ٠,٤٨ مليجرام /لتر. الكلور الحر يمكن أن يتفـــاعل مـــع

المواد العضوية مسببا مشاكل الطعم والرائحة واشدها تأثيرا هو التفاعل بين الكلور والفينول كما أن الترايها لومثيان يمكن كشفه بالرائحة عند تركيز ٠,١ مليجرام /لتر للكلوروفورم، ٠,٣ مليجرام/لتر للبروموفورم. والفلوريدات تعطى طعم خاص عند تركيز ٢,٤ مليجرام /لتر ويعتبر تحلل النباتات ونشاط البكتريا من اكثر العوامل المسببة للطعم والرائحة للمياه من المصادر السطحية. واكثر الكائنات المسببة للطعم والرائحة هى الطحالب والفطريات وأنواع من البكتريا والبروتوزوا. فى المياه الجوفية وبعض شبكات التوزيع يحدث مذاق سيئ نتيجة تحلل أملاح الكبريتات بفعل البكتريا اللا هوائية إلى كبريتيد الهيدروجين.

٣- العكارة واللون :

يعتبر مظهر المياه من عوامل قابليتها للمستهلك وكذلك يعتبر المستوى المنخفض للون والعكارة هام لكثير من الصناعات. المياه المرشحة لها قيمة دليلة للون ٣-١٥، ومقياس عكارة من صفر إلى واحد بمقياس الكدر (NTU Nephelometry) ومصدر اللون فى المياه يمكن أن يشمل الأيونات المعدنية الطبيعية وكذلك الرقم الهيدروجينى المنخفض الذى ينشط التآكل الكيميائى للمواسير والأوعية والخزانات الأسمنتية ومواسير الاسبستوس والمونة الأسمنتية المبطنة لمواسير الزهر. الرقم الهيدروجينى المتعادل ما بين ٦,٥ الى ٨,٢ يساعد على نشاط البكتريا المؤكسدة للحديد وغيرها. وسبب العكارة فى الماء هو وجود أجسام عالقة مثل الطمى والأجسام الغروية (Colloidal) والكائنات المجهرية الأخرى. والعكر تعبير عن خواص تشتيت الضوء وامتصاصه فى عينة من الماء. يمكن استعمال خمسة طرق لقياس العكر للماء إلا أن اثنان هما اللتان يشكلان أساس طرق المعايرة الحالية وهما قياس الكدر Nephelometry وقياس العكر Turbidimetry وقد استخدمت شمعة جاكسون أو (أنبوبة جاكسون) وهى قيمة تستند على القياس فى وعاء مدرج خاص بالعمق للعينة الذى يخفى صورة شمعة عيارية عمودية على السائل فى وعاء مدرج ويتم الملاحظة للعينة عموديا حتى إختفاء صورة الشمعة وقد استبدلت الشمعة بمصباح كهربائى له شدة استضاءة معينة ويتراوح حجم الجسيمات المسببة للعكر فى الماء ما بين ١٠ نانو متر للأجسام الغروية

(Colloidal) إلى حوالى ٠,١ مليمتر ويمكن أن يحدث العكر العضوى نتيجة تراكم الكائنات المجهرية مثل نمو الطحالب ذات اللون الأخضر المائل إلى الزرقة والذى يجعل شكل المياه غير مقبول كما أن نواتج التآكل من مسببات العكارة.

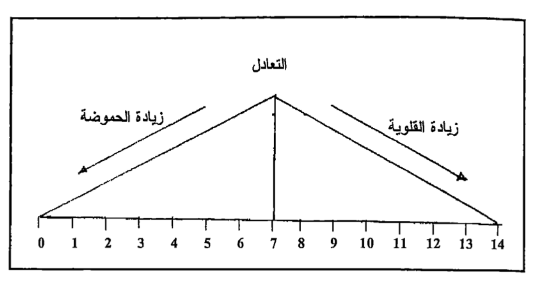
وللعكارة علاقة بجودة وصلاحية المياه للشرب حيث يمكن أن تكون العكارة غذاء للكائنات الجرثومية وحمايتها أو تكون سببا فى عدم إمكان الكشف عنها. وتساعد العكارة على نمو وتكاثر الكائنات الجرثومية ولقد إتضح أن طمى الأنهار يمتز الفيروسات بسهولة. فى عمليات المعالجة لمياه الشرب باستخدام الترويب فان الجراثيم والفيروسات تعلق بالزغبات (Floc's) المتكونة وتزال مع العكارة سواء كانت عضوية أو غير عضوية أو من الكائنات الدقيقة التى يمكن أن تحمى الجراثيم والفيروسات من فعل المطهرات باستخدام الكلور مع زمن مكث قدره ٣٠ ث ووجود كلور متبقى بين ٠.١ إلى ٠,٥ مليجرام /لتر. ولهذا لا يمكن جعل المياه آمنة للشرب إلا بعد إزالة العكارة فى مراحل الترويب والترسيب والترشيح قبل الكلورة. العكارة كذلك تحمى الكائنات الجرثومية من التطهير باستخدام الأشعة فوق البنفسجية لهذا فإنه لإنتاج مياه الشرب الآمنة باستعمال المطهرات من الكلور أو خلافه المحافظة على مستوى منخفض من العكارة اقل من واحد بمقياس الكدر (Ntu).

٤- الرقم الهيدروجينى: pH Value

الرقم الهيدروجينى لكيان مائى هو قياس للتوازن الحمضى القلوى الذى تحققه مختلف المركبات المذابة فيه وقيمة الرقم الهيدروجينى اقل من ٧ تبين الحالة الحامضية والأكثر من ٧ تبين الحالة القلوية والقيمة ٧ للرقم الهيدروجينى تبين حالة التعادل بين الحموضة والقلوية (الشكل ١).

والرقم الهيدروجينى لمعظم المياه الطبيعية بحكمه التوازن بين مسببات الحموضة (ثانى أكسيد الكربون) ومسببات القلوية (البيكربونات و الكربونات) وتوازنات أخرى والتى تتأثر جميعها بدرجة الحرارة (يحدث انخفاض فى الرقم الهيدروجينى قدره ٠,٤٥ كلما ارتفعت درجة الحرارة ٢٥°م). ويتغير تأثير درجة

الحرارة فى الماء المحتوى على قدرة درىء (Buffering Capacity) نتيجة وجـــود أملاح البيكربونات. ويقع الرقم الهيدروجينى لمعظم المياه العزبــــه الطبيعيـــة فـــى المجارى السطحية ما بين ٦,٥ – ٨,٥. أثناء معالجة المياه يعمل الكلور على خفض الرقم الهيدروجينى بينما يرتفع الرقم الهيدروجينى عند إزالة عسر المياه باســـتخدام الجير المطفى، الصودا (Lime / Soda).



شكل رقم (١) الرقم الهيدروجينى (الحموضة والقلوية) – (pH. Value)

الرقم الـــهيدروجينى المنخفــض يســاعد علــى تنشــيط التــآكل الكيميــائى والكهروكيميائى فى المعادن والسبائك من الحديد/الصلب/الزهر/النحاس حيث ينشـط التآكل كلما قل الرقم الهيدروجينى. وكذلك الرقم الهيدروجينى المنخفــض (الحالــة الحامضية) ينشط التآكل الكميائى للمواد الأسمنتية وذلـــك بســبب التفــاعل بيــن الحامضية فى الماء وقلوية الأسمنت التى تبلغ ١٢,٥ (pH=12.5). وزيـــادة الرقــم الهيدروجينى نحو القلوية حتى رقم الهيدروجينى ٨,٥ يزيـــد مـــن معــدل التــآكل الكهروكيميائى بسبب زيادة وتركيز الأملاح فى الماء المسببة للقلوية. ومع زيـــادة الرقم الهيدروجينى حتى ١٢,٥ كما فى حالة المونة الأسمنتية تحدث الحماية لمعــدن الحديد الملاصق للمادة الأسمنتية والخرسانية نتيجة تكوين أكسيد الحديديـــك علـــى سطح المعدن الذى لا يذوب ويحمى المعدن ويتوقف التآكل، كما فى حالـــة حديـــد

التسليح فى الخرسانة المسلحة أو طبقة الحماية من المونة الأسمنتية للسطح الداخلى للمواسير من الزهر المرن، وان كان الوصول إلى الرقم الهيدروجينى ١٢,٥ غير وارد فى مياه الشرب والاستخدام المنزلى. المياه التى تميل إلى القلوية تعمل على ترسيب طبقة من كربونات الكالسيوم التى توفر الحماية للسطح الداخلى للمواسير من التآكل وهذه الظاهرة تتوقف على بعض الخصائص للمياه فى المواسير وهى العسر الكلى والقلوية الكلية ومجموع المواد الصلبة المذابة ودرجة الحرارة بالإضافة إلى الرقم الهيدروجينى. حيث أن هذه الخصائص كما يمكن أن تعمل على ترسيب طبقة الحماية يمكن كذلك أن تعمل على إذابة أملاح الكالسيوم من المادة الأسمنتية وإتلافها. العلاقة بين تلك الخصائص تحكمها معادلات تمكن من إستنباط ما تحدثه المياه من الحماية أو التآكل، ومن هذه المعادلات أو المحددات (Parameters) مخطط لانجيليير للتشبع (LSI-Langelier Saturation Index)، مخطط العدوانية (AI–Aggressive Index) ومخطط الثبات لريزز (RSI–Rysnar Stability Index). والمياه التى ترسب كربونات الكالسيوم بسمك ١–٣ مم لتوفير الحماية من التآكل يمكن التحكم فيها باستخدام المخططات المذكورة سابقا بضبط الرقم الهيدروجينى بإضافة الجير أو الصودا أش أو الصودا الكاوية بمعدلات تتراوح ما بين ٥–٢٥ ملجرام فى اللتر، وطبقا لنوعية المياه والرقم الهيدروجينى ودرجة الحرارة.

قد تتعدى المياه مرحلة الترسيب لطبقة الحماية وتحدث ترسيبات وتراكمات بسمك كبير من كربونات الكالسيوم بما يحدث انسداد فى المواسير ويقلل من معدل تدفق المياه ويزيد من جهد الضخ، وقد تصل الحالة إلى الانسداد الكامل للمواسير. وفى مثل هذه الحالات يمكن إزالة هذه الترسيبات باستخدام (Inhibitors) المثبطات من أملاح فوسفات الصوديوم (Polysoduim Phosphate) بتركيز من ٠,٢٥ إلى ٠,٥ ملجرام / لتر، أو خفض الرقم الهيدروجيني بإضافة ثاني أكسيد الكربون. الرقم الهيدروجيني المتعادل يساعد على نشاط البكتريا (ما بين ٦,٥– ٨,٢) ومنها المؤكد للحديد أو المختزل للكبريتات إلى كبريتيد الهيدروجينى ذو الرائحة الكريهة. ولهذا يلزم المحافظة على الكلور الزائد فى شبكة وخزانات المياه لتفادى نشاط هذه الأنواع من البكتريا فى المجال

المتعادل والتى يزداد نشاطها مع ارتفاع درجة الحرارة حيث يبلغ أقصى نشـــاطها عند ٣٧°م ورقم هيدروجينى ٧. وعند إضافة تركيزات عالية من الكلـــور للميـــاه المحتوية على النشادر قد تظهر الرائحة الكريهة لمادة كلوريد النيـــتروجين (- CL_3 Trichloro Amine) بتركيزات كبيرة عندما يقل الرقم الهيدروجينى عن ٧.

عندما يرتفع الرقم الهيدروجينى تكتسب مياه الشرب طعما لازعا وتزداد كذلـك كثافة اللون وقد أدى هذا التأثير المعروف بتأثير المؤشر الى اقـــتراح ان تجـرى جميع قياسات اللون لضبط جودة المياه عند رقم هيدروجينى ٨,٣. وفعاليه الكلـــور فى القضاء على الجراثيم تقل مع ارتفاع الرقم الهيدروجينى وذلك نتيجة الانخفـاض فى تركيز حامض الهيبوكلورس (HOCL) ذو الأثر الفعال فى التطهير مع زيـــادة القلوية بارتفاع الرقم الهيدروجينى. الرقم الـــهيدروجينى ليـس لـــه تـــأثير علـــى المطهرات من الأوزون وثانى أكسيد الكلور(CLO_2).

والرقم الهيدروجينى المنخفض يؤثر على تآكل بعض المعادن المسببه للســـميه مثل معدن الرصاص والذى كان يستخدم فى المدادات لتوصيل المياه من بريزة خط المياه الى المنازل. والرصاص يتآكل عندما يزيد الرقم الهيدروجينى عـــن ١٢ ولا يتآكل فى حالة وجود أملاح الكربونات والبيكربونات فى مجال رقم هيدروجينى بين ٤–٨. والكادميوم الذى يوجد كمعدن فى سبائك الصلب والنحاس التى تستخدم فـــى محطات وشبكات المياه يتآكل عند رقم هيدروجينى اقل من ٦ ولا يتآكل عند رقـــم هيدروجينى أعلى من ذلك وخاصة ما بين ٩ الى ١٣,٥.

ولاتوجد علاقة مباشرة بين الرقم الهيدروجينى لمياه الشرب وصحة الانســـان وإن كانت العلاقة تخص جوانب متعددة لجودة المياه. والرقم الهيدروجينى له تـــأثير على فعالية مواد التطهير مثل الكلور وعلى مختلف العمليات فى معالجة المياه التـــى تسهم فى ازالة الفيروسات والكائنات الضارة الاخرى. تزداد كفاءة مواد الـــترويب مثل الشبه عند رقم هيدروجينى أقل من ٧ بينما المجال المناسب لإســـتخدام مـــواد الترويب من كبريتات الحديديك او كبريتات الحديدوز هو من ٨,٥ إلى ٩,٥ ولذلـــك تضاف مساعدات الترويب فى الحالة الأولى (عند استخدام الشبة) لخفـــض الرقـــم

الهيدروجينى وفى الحالة الثانية (عند استخدام كبريتات الحديديك والحديدوز) تضاف الصودا الكاوية أو الجير لرفع الرقم الهيدروجينى.

ويمكن القول أن الرقم الهيدروجيني له تأثير غير مباشر على الصحة العامة والقيمة الموصى بها للرقم الهيدروجيني فى مياه الشرب ما بين ٦,٥– ٨,٥ على الرغم بأن بعض المشكلات يمكن أن تحدث فى شبكة التوزيع عندما يقل الرقم الهيدروجيني عن ٧.

٥- درجة الحرارة

تؤثر درجة الحرارة على كل جانب من جوانب توزيع ومعالجة المياه وبصفة خاصة معدل التفاعلات الكيميائية الذي يقل مع انخفاض درجة الحرارة. ومياه الشرب الباردة أكثر قبولا وإستساغة من مياه الشرب الدافئة. وكثافة المياه تبلغ أقصاها فى درجة حرارة الغرفة وتقل بالتبريد. والتسخين بزيادة درجة الحرارة يزيد من ضغط بخار المركبات العضوية المتطايرة فى مياه الشرب بما يؤدى إلى ظهور الرائحة. ترتبط العكارة واللون بدرجة الحرارة بشكل غير مباشر فمع ارتفاع درجة الحرارة تقل اللزوجة. وتزداد كفاءة الترسيب والترشيح فى الصيف لتكون أعلا منها في الشتاء. ويتأثر الترشيح عند استخدام الكربون المنشط بدرجة الحرارة فتقل كفاءة الامتزاز (Adsorption) للفحم المنشط كلما زادت درجة الحرارة. وكلما زادت درجة الحرارة قل الرقم الهيدروجينى المناسب للترويب والتزغيب، ولذا لتحقيق الاقتصاد في استخدام المروبات تجرى تجارب تعيين الجرعة بجهاز اختبار القنينة (Jar Test) في درجة حرارة مياه المصدر وليس في درجة حرارة الغرفة. ومع انخفاض درجة الحرارة تقل إمكانية تكوين الزغبات باستخدام المروبات وكذلك متوسط حجم الزغبات. وبصفة عامة فإن ارتفاع درجة حرارة الماء تساعد فى زيادة كفاءة المطهرات لقتل الكائنات الجرثوميه الممرضة، وكذلك تزداد كفاءة ازالة هذه الكائنات العالقة فى عمليات التزغيب والترسيب والترشيح بسبب النقص فى لزوجة المياه. ويقل زمن بقاء الحويصلات وبيض الديدان الطفيليه مع ارتفاع درجة الحرارة، فبيض البلهارسيا يموت بعد ٩ أيام فى درجة حرارة من ٢٩-٣٢°م، وخلال ٣ اسابيع فى درجة حرارة ١٥-٢٤°م خلال ٣ شهور فى

درجة ٥٧ م، ولكن المياه الراكدة تنشط نمو الكائنات المسببة للمضايقة والتى يمكن ان تؤدى الى ظهور طعم ورائحة كريهين. ويزداد معدل تكوين مركب الترايها لوميثان فى مياه الشرب المكلورة مع ارتفاع درجة الحرارة. وزيادة درجة الحوارة تنشط تفاعلات التآكل، ولكن اضافة ايدروكسيد الصوديوم لرفع الرقم الهيدروجينى يؤدى الى خفض هذه الزيادة الى النصف فى نفس نطاق درجة الحرارة. ومع ارتفاع درجة الحرارة يقل الأكسجين المذاب فى الماء وهو عامل هام فى تنشيط التآكل الكهروكيميائى.

وزيادة درجة الحرارة مع انخفاض الرقم الهيدروجينى يعمل على إذابة طبقة الحماية من كربونات الكالسيوم على الجدار الداخلى للمواسير وبالتالى لاتتم ترسيبات جديدة. والجدول (١) يوضح الخواص الطبيعية لمياه الشرب طبقا لدلائل منظمة الصحة العالمية والمعايير التى أصدرتها وزارة الصحة:

جدول (١) الخواص الطبيعية لمياه الشرب

الخاصية	الدلائل التي أعدتها منظمة الصحة العالمية	المعايير التي أصدرتها وزارة الصحة
الطعم والرائحة	مقبول لدى معظم المستهلكين	مقبولان
اللون	--	٢-٣ كحد أقصى بمقياس الكوبالت بلاتين.
العكارة	٥ بمقياس NTU و يفضل واحد لضمان كفاءة التطهير	٥ بوحدات جاكسون أو ما يعادلها للمياه المرشحة ، ١٠ للمياه الجوفية و الخليط
الرقم الهيدروجيني	٦,٥- ٨,٥	٦,٥-٩,٢

القسم الثانى

المواد الغير عضوية فى مياه الشرب
ذات التأثير على الأستساغة أو الاستخدام المنزلى
والتى لا تأثير لها على الصحة العامة

١- الأملاح الكلية المذابة عند ٣٠°م

المياه ذات المحتوى العالي من الأملاح الكلية المذابة تكـــون اقــل استســاغة للمستهلك، وطبقاً لنوع الملح الموجود فى الماء يحدث مذاق لاذع فى حالة أمـــلاح الكبريتات والذي يظهر على مستوى أعـــلا من ٣٠٠- ٤٠٠ ملجـــرام / لـــتر. وتركيز الكلوريدات اكثر من ٢٥٠ ملجرام / لتر يعطى مــذاق مـــالح. ولا يوجـد دليل على وجود أضرار صحية فى حالة المياه التى بها أملاح مذابـــة اكـــثر مـــن ١٢٠٠ ملجرام / لتر ويبدو ان نتائج بعض الدراسات أظهرت ان الأملاح الذائبــــة فى مياه الشرب يمكن أن يكون لها آثار صحية مفيــدة. قـــرر بريفيلــد (Breveld) وزملاؤه استساغة مياه الشرب لمستوى مجموع المواد الصلبة المذابة على النحـــو التالي:

ممتاز أقــل من ٣٠٠ ملجرام /لتر
جــيد بيـــن ٣٠٠-٦٠٠ ملجرام / لتر
مقبول بيـــن ٦٠٠-٩٠٠ ملجرام /لتر
ردىء بيـــن ٩٠٠-١٢٠٠ ملجرام /لتر
غير مقبول أكثر من ١٢٠٠ ملجـــرام / لتر

كذلك فان المياه ذات المستوى المنخفض من الأملاح المذابة غير مستساغة للشرب.

٣- الحديد

يأتى الحديد الرابع فى ترتيب اكثر العناصر وفره من حيث الوزن فى القشرة الأرضية. يوجد الحديد فى مياه المجارى السطحية فى شكل ثلاثي التكافؤ الغير مذاب فى الماء أو فى شكل مركب هلامي من الحديد والمواد العضوية. وفى المياه الجوفية قد يوجد الحديد فى شكل ثنائي التكافؤ من أملاح الحديدوز التى تذوب فى الماء. وتزال مركبات الحديد من المياه السطحية العزبة فى مراحل المعالجة بالمرشحات. وقد توجد أملاح الحديد فى المياه بعد المعالجة والضخ فى الشبكة نتيجة تأكل المواسير الحديدية فى شبكة التوزيع المصنوعة من الصلب أو الزهر. ويرجع وجود الحديد فى مياه الآبار الى وجود أملاح الحديديك فى بعض أنواع التربة الحاملة للمياه الجوفية فى شكل غير قابل للذوبان. وعند تحلل بعض الملوثات العضوية من الكائنات الحية الدقيقة أو النباتية لا هوائيا أثناء رحلة المياه الحاملة لهذه الملوثات الى جوف الأرض يكون من نواتج التحلل ثاني أكسيد الكربون. تختزل أملاح الحديديك من الكربونات والأيدروكسيد الغير مذاب الى أملاح الحديدوز القابل للذوبان فى الماء نتيجة تفاعل ثاني أكسيد الكربون مع أملاح الحديديك. وتركيزات الحديدوز فى المياه الجوفيه تترواح مابين ٠,١ ملجرام/لتر الى مايزيد عن ٣٠ملجرام/ لتر. ومركبات الحديدوز المذابة لا لون لها وعندما تتعرض المياة الجوفيه الى الهواء الجوى تتأكد أملاح الحديدوز الى أملاح الحديديك الغير مذابة والتى تعلق بالمياه فى الشكل الهلامى وتعطى المياه اللون الطوبى الأحمر. ويزال الحديد من مياه الآبار فى حالة وجوده بالاكسدة بالتهوية فقط فى حالة التركيز اقل من ٢ ملجرام /لتر. او بالتهوية والكيمياويات المؤكسدة مثل الكلور فى حالة زيادة التركيز عن ذلك، حيث يتحول الحديدوز الى الحديديك الغير مذاب والذى يرسب ثم يتم التخلص منه بالترسيب والترشيح.

ويوجد الحديد بنسب قليلة جدا فى الهواء الجوى. ويختلف محتوى الحديد فى الأطعمة اختلافا كبيرا فمتوسط وجوده فى البقول هو ٢٩,٥ جزء فى المليون، وفى اللحوم ٢٦,٢ جزء فى المليون وهما المصدران الرئيسيان لهذا العنصر أما تركيز الحديد فى معظم الأطعمة الأخرى فهو أقل من ٢٠ جزء من المليون. وقد قدر مدخول الحديد اليومى من الأغذية التقليدية فى الدول المتقدمة من ١٥-٢٠ ملجرام. عادة ماتكون تركيزات-الحديد فى مياه الشرب اقل من ٠,٣ ملجرام / لتر. والمدخول اليومى من الحديد فى الطعام أعلا منه من مياه الشرب. وتختلف تقديرات الحد الأدنى من الاحتياجات اليوميه من الحديد من ٧ الى ١٤ ملجرام حسب السن والجنس. فقد تحتاج النساء الحوامل اكثر من ١٥ ملجرام فى اليوم. ويعتبر ١٠ ملجرام هو متوسط الاحتياج اليومى. ويمتص منه حوال ١٠% والباقى يتخلص منه الجسم مع افرازات العرق والبول والبراز. ويستعمل ٦٠ - ٧٠ % من الحديد الممتص فى انتاج هيموجلوبين الدم، ٥% فى إنتاج اليوجلوبين ويختزن الباقى فى الكبد ونخاع العظام والطحال. ولا توجد مشاكل صحية من تناول الحديد مع الطعام، وان كانت حالات الاستهلاك الطويل للاغذية الحمضية المطهية فى الاوانى الحديدية ينتج منها كميات كبيرة من الحديد مما يوجد حالة تعرف بالصباغ الدموى حيث الاليات المنظمة الطبيعية لاتعمل بكفاءة وفى هذه الحالة يسبب تراكم حديد تلف للانسجة.

ومن الامور المنفرة لوجود حديد فى امدادات مياه الشرب التى لاصلة لها بالصحة العامة وهو المذاق الغير مستساغ للماء واللون المنفر بالاضافة الى ما تحدثه املاح الحديد الهلامية من التصاق بالاوعية والملابس اثناء الاستخدام المنزلى وعادة ما تنشأ مشكلة حديد فى الماء نتيجة تآكل مواسير الحديد فى شبكة التوزيع. وقد يحدث تراكم لنواتج تآكل الحديد فى الشبكة وتعمل على انسدادها وكذلك قد تنشط البكتريا المؤكسدة للحديد بما يضيف ملوثات اخرى لوجود هذه الكائنات وتكاثرها.

ولكل ما سبق فإنه من الحكمة حيثما امكن المحافظة على مستويات الحديد فى مياه الشرب والاستخدام المنزلى دون القيمة ٠,٣ مليجرام / لتر. وقد اجازت معايير

مياه الشرب فى مصر المحتوى من الحديد بحد اقصى ٠,٣ مليجرام / لتر للمياه المرشحة و ١ ملجرام / لتر للمياه الجوفية او الخليط.

٣-المنجنيز

مصادر المنجنيز المنقولة بالهواء منتشرة انتشارا كبيرا. وعند وجود المنجنيز فى مجارى المياه السطحية يكون فى شكل مذاب والغير مذاب العالق وكثيرا ما تحتويه المياه بنسبة حوالى ٠,٢ ملجرام / لتر او اقل. وقد تصل الى ١٠ ملجرام /لتر فى المياه الجوفية الحامضية. والمنجنيز يوجد عادة مع الحديد ولكن بتركيزات اقل من نصف تركيزات الحديد. وجود المنجنيز فى المياه العزبة يقترن عادة بالتلوث الصناعى ويختلف محتوى المواد الغذائية من المنجنيز حيث توجد تركيزات منخفضة فى منتجات الالبان من صفر الى ١,٩ جزء فى المليون وفى اللحوم من صفر الى ٠,٨ جزء فى المليون وفى الاسماك من صفر الى ٠,٨ جزء فى المليون ويوجد المنجنيز بتركيز اعلى فى الحبوب والقمح بنسبة من ١,٢ – ٣٠,٨ جزء فى المليون. وفى البندق من ٠,٤الى ٣٥,١ جزء فى المليون وفى الخضروات من ٠,٢ – ١٢,٧ جزء فى المليون. وقد وجدت تركيزات مرتفعة فى اوراق الشاى فيمكن ان يحتوى فنجان شاى على ١,٤– ٣,٦ ملجرام. ويصل المنجنيز الى جسم الانسان عن طريق الاستنشاق وتناول الطعام والماء ولكن الجزء الاكبر يأتى من الاطعمة. ويقدر الاحتياج اليومى من المنجنيز للوظائف الفسيولوجية الطبيعية بمقدار ٣-٥ ملجرام. المنجنيز عنصر ضرورى للانسان والحيوان الا انه لا يمتص سوى ٣% من المنجنيز المتناول والممتص يترك مجرى الدم بسرعة ويتركز فى الكبد. سعة تخزين الكبد للمنجنيز محدودة بحوالى ١-١,٣ جزء فى المليون من الوزن الرطب وعلى الرغم من عدم تأكيد اى اضرار بسبب نقص المنجنيز الا انه من المحتمل وجود علاقة بين نقص المنجنيز وفقر الدم. ويؤدى فقر الدم الى زيادة امتصاص الحديد والمنجنيز ويتناسب تناسب عكسى مع مستوى الكالسيوم فى الغذاء ولكنه يرتبط ارتباطا مباشرا بمستوى البوتاسيوم. درجة ذوبان المنجنيز فى العصارة المعدية منخفض فلا يمتص فى العصارة المعدية سوى ٣-٤ % من القدر المتناول بالفم وينظم المنجنيز أساساً فى الجسم بالإفرازات ويعتبر المنجنيز واحدا

من اقل العناصر سمية ولم تلاحظ اى تـــأثيرات صحيـــة ضـــارة بالانســـان مـــع المستويات التالية من التناول اليومى للمنجنيز.

الطعام ما بين ٢-٧ ملجرام بمتوسط ٣جرام.

الماء ما بين صفر -١ ملجرام بمتوسط ٠,٠٠٥ ملجرام.

الهواء ما بين صفر- ٠,٠٢٩ ملجرام بمتوسط ٠,٠٠٢ ملجرام.

يمكن ان يكون المنجنيز فى مياه الشرب منفرا لعدد من الاسباب التى لاصلـــة لها بالصحة العامة. فعند تركيز ٠,١٥ ملجرام /لتر يضفى مذاقـــا كريـــها وغـــير مستساغ كما انه يلتصق بالاجسام المعدنية والغير معدنية والمنسوجات اثناء غسـيلها بالماء والمنجنيز المؤكسد يكون ترسيبات عند تركيز حتى ٠,٠٢ ملجرام / لتر. كما يكون تراكمات فى المواسير كرماد اسود. يساعد المنجنيز على نمو بعض البكتريـــا وتكاثرها بما يحدث تغير فى مذاق ورائحة وعكارة المياه. والمياه المحتوية علـــــى اكثر من ٠,٢ ملجرام /لتر غير مرغوبة فى معظم العمليات الصناعية. ويوصـــــى بقيمة المنجنيز فى مياه الشرب والاستخدام المنزلى الاتزيد عن ٠,١ ملجرام /لـــتر لتجنب الاثار المترتبة على عدم الاستساغة والترسيب على الاجسام الملاصقة عنـد استخدام المياه فى النظافة. وقد أوصت المعايير المصرية بتركيز ٠,١ ملجرام/لـــتر للمياه المرشحه، ٠,٥ ملجرام/لتر لمياه الآبار. المنجنيز ثنائى التكافؤ يـــذوب فـــى الماء ولا يتأكسد بسهولة بالهواء الجوى كما فى حالة الحديد ولكنه يتأكسد بـــالكلور فى المجال القلوى عند رقم هيدروجينى ٩,٥ وبالمبرمنجنات فى المجال المتعـــادل. تزال الرواسب الناتجة عن عمليات الاكسدة بالترسيب والترشيح مع أملاح الحديـــد المرسبة أو فى مرحلة تالية ومنفصلة عنها بعد الأكسدة.

٤- النحاس : ١ مليجرام /لتر

يوجد النحاس فى بعض أنواع التربة وكثيرا ما يوجد فـــى الميـــاه الســطحية. ويتوقف محتوى النحاس فى التربة على عـــدة عوامل مثـــل الموقـــع الجغرافـــي والقرب من المصانع واستعمالات الأسمدة الغير عضويـــة والتـــى تحتـــوى علـــى تركيزات من النحاس تصل من ٠,٠١ الى ٠,٠٥ جزء فى الألف. ويختلف مقـــدار

النحاس الموجود فى الطعام تبعا لمحتوى التربة من النحاس. وعادة مايكون محتوى النحاس فى الأطعمة مثل الخضراوات والدقيق ومنتجات الألبان واللحوم أقل من ٠,٠١ جزء فى الألف. كذلك تختلف مستويات النحاس فى مياه الشرب من ٠,٠٥ الى ٠,٠١ مليجرام / لتر. وان كان النحاس يزال فى عمليات المعالجة بالمروبات الا أن تركيز النحاس فى صنبور المستهلك يمكن ان يكون أعلى مما هو فى المياه الخام قبل المعالجة وذلك بسبب تأكل النحاس الذى قد يوجد فى شبكات توزيع الميله والسباكة المنزلية. والماء المخزون فى أوعيه نحاسية يمكنه المحافظة على النوعية الجرثومية دون تدهور. ومركبات النحاس المذاب فى الماء تطفى لوناً وطعماً غير مستساغين لمياه الشرب. والتأثيرات الصحيه للنحاس تتمثل فى دورة فى تكوين كرات الدم الحمراء ونمو الأنسجة والعظام والجهاز العصبي المركزى والنسيج الضام. ولما كان النحاس موزعا توزيعا واسعا فى الأطعمة فإنه من غير المحتمل أن يعانى الانسان من نقص النحاس ربما باستثناء الرضع الذين يقتاتون اللبن وحده. النحاس تابع للحديد فى علاج فقر الدم الغذائى للرضع. ويؤدي تناول الانسان للنحاس بجرعات مفرطة الى تهيج مخاطى شديد وتلف شعري واسع الانتشار وتلف كبدى وكلوى وتهيج فى الجهاز العصبي المركزي يتلوة إكتئاب. كما يمكن ان يحدث تهيج معوى معدى شديد وتغيرات فى الكليتين والكبد. ويندر أن يحدث تسمم للانسان بالنحاس بسبب المفعول المقئ القوى للنحاس. وللنحاس فى الماء مذاق بغيض وغير مستساغ وقابض ويمكن ملاحظة الطعم فى الماء المقطر عند تركيز ٢,٦ ملجرام / لتر. على الرغم من أن وجود النحاس فى إمدادات الميله لا يشكل خطراً على الصحة العامة الا أنه يمكن ان يتداخل مع الاستعمالات المنزلية بما يسببه من لطع زرقاء على الآوانى والملابس الملامسة عند غسيلها. والنحاس فى الماء ينشط تآكل الأوانى المنزلية المصنوعة من الألومنيوم والزنك حيث يتآكل الألومنيوم والزنك لكونهما أقل فى الجهد من النحاس. وتركيزات النحاس أكثر من ١ ملجرام /لتر تحدث اللون الأزرق فى الأجسام الملاصقة وهذه هى القيمة التى يوصى بها فى معايير مياه الشرب والاستخدام المنزلى.

٥-الزنـك : ٥ مليجرام / لتر

الزنك عنصر موجود فى الطبيعة بوفره وهو يشكل ٠,٠٤ جرام فى كل كيلــو جرام من القشرة الأرضية. أكثر أملاح الزنك شيوعا كبريتيد الزنك والذي يكـــون مصحوبا بكبريتيد عناصر فلزية أخرى مثــل الرصـــاص والنحـــاس والكالســيوم والحديد. أملاح الزنك قليلة الزوبان فى الماء هى الأكاسيد والكبريتيد والكربونـــات. بينما أملاح الزنك القابلة للزوبان فى الماء من الكلوريدات والكبريتات تميــل الــى التحلل لتكوين أيدر وكسيد الزنك وكربونات الزنك. لذلك فانة عادة مايكون تركـــيز الزنك منخفضا فى المياه الطبيعية، كما يزيد من نقص مســتويات الزنـــك المـــذاب الادمصاص على الرواسب. وقد يكون تركيز الزنك فى ماء الصنبور أعلى بشـــكل واضح عن تركيزه فى المصادر العزبة السطحية بسبب تأكل الزنك من المواســـير المجلفنة فى الشبكة والنحاس الأصفر والذى يتكون من ٣٠% زنك٧٠% نحـــاس. ويختلف تركيز الزنك فى ماء الصنبور بين ٠,٠١ الى ١ ملجرام / لـــتر وللزنـــك أهميته الغذائية. أغنى الأطعمة فى الزنك هى اللحوم ونواتج الألبـــان كمـــا تمثـــل الحبوب والبندق مصادر هامة. وفيما يلى محتوى الزنك فى بعض الأطعمة:

* لحم البقر والضأن	٢٠ - ٦٠ جزء فى المليون.
* اللـــــبن	٣ - ٥ جزء فى المليون.
* الأسماك و الأطعمة البحرية	اكثر من ١٥ جزء فى المليون.
* البقول و القمح	١٥ - ٥٠ جزء فى المليون.
* الخضراوات الورقية والفواكه	أقل من ٢ جزء فى المليون.

والطعام هو المصدر الأكبر لحاجة الإنسان للزنك فـــهو عنصـــر ضـــرورى للإنسان والحيوان. يقدر مدخول الزنك الغذائي الموصى به حسب العمر والجنـــس بين ٤ -١٥ مليجرام فى اليوم ويحتاج الحوامل إلى ١٦ مليجرام في اليوم. وقـــد لوحظ وجود علاقة بين نقص الزنك بين الشباب في مصر وبطئ النمو والعلامـــات الأخرى لعدم النضج بالإضافة الى فقر الدم وربما يكون السبب في ذلك انخفـــاض الامتصاص المعوي للزنك. والزنك لا يتراكم في الأنسجة ويمكن اعتبار الزنك غير

سام ومن غير المحتمل حدوث سميه للإنسان بالزنك من مياه الشـــرب والمصـــادر الغذائية الأخرى العادية.

والجرعات العالية اليومية من الزنك التى تبلـــغ ١٥٠ جـــرام تتداخـــل مـــع المدخول اليومى من جرعات الحديد والنحاس ولا توجد مشكلة. كما تقـــدم بعـــض جرعات الزنك العالية بعض الحماية ازاء التأثيرات الســـامة للكـــادميوم. وتشـــمل أعراض التسمم بالزنك فى الإنسان القيء والجفاف وألام البطن والغثيان والافتقـــار إلى التوازن العضلى العصبي. وقد أبلغ عن فشل كلوى حاد سببه كلوريد الزنـــك. والزنك يعطى للماء مذاقا قابضا غير مستساغ، بالإضافة الى انه يضيـــف عتامـــة للماء المحتوى على اكثر من ٥ ملجرام / لتر ويكون طبقة طافية عند غلى المـــاء. ولتجنب اى من هذه المشكلات حددت القيمه الدليلـــه للزنـــك فـــى ميـــاه الشـــرب والاستخدام المنزلى ٥ ملجرام / لتر.

٦- العسر الكلي: ٥٠٠ مليجرام / لتر ككربونات كالسيوم

عسر الماء قياس تقليدى لقدرة الماء على التفاعل مع الصابون اذ يتطلب المـــاء العسر مقداراً كبيرا من الصابون لانتاج الرغوة. ويرجع وجود ترســـيبات (Scales) فى مواسير السخانات والمراجل الى الماء العسر. ويسبب عسر الماء وجود أيونات العناصر متعددة التكافؤ المذابة فيه مثل الكالسيوم والمغنسيوم كمـــا تســـهم كذلـــك أيونات الأسترنشيوم والحديد والمنجنيز والباريوم. ويقاس العســـر عـــادة بتفـــاعل أيونات العناصر متعددة التكافؤ الموجودة فى الماء مع عامل استخلاب (Chelating Agent) مثل مادة EDTA ويعبر عنها بتركيز مكافئ من كربونات الكالسيوم. كمـــا يمكن تعيين العسر بتعيين تركيزات مكونات العسر منفردة حيث يعبر عن مجموعها بالكمية المكافئة من كربونات الكالسيوم. وقد صنفت درجة عسر المـــاء المســـتخدم للشرب من حيث المكافئ من تركيز كربونات الكالسيوم على النحو التالي.

* **ماء يسر** من صفر – ٦٠ مليجرام / لتر (عسر مقيم ككربونات الكالسيوم).
* **متوسط العسر** من ٦٠ – ١٢٠ ملجرام / لتر (عسر مقيم ككربونات الكالسيوم).
* **عسر** من ١٢٠ – ١٨٠ ملجرام / لتر (عسر ككربونات الكالسيوم).
* **عسر جدا** من ١٨٠ فأكثر ملجرام / لتر (عسر ككربونات الكالسيوم).

وعلى الرغم من ان العسر يسبب الكاتأيونات (Cations) فإنه يناقش كذلك من حيث العسر المؤقت للكربونات والعسر المستديم للغير كربونات (Permenant Non Carbonate Hardness) ويشير العسر المؤقت للكربونات الى مقدار الكربونات والبيكربونات فى المحلول الذى يمكن ترسيبه أو إزالته بغلى الماء. وهذا النوع من العسر هو المسئول عن الترسبات فى مواسير الماء الساخن والغلايات. والعسر المستديم من كبريتات وكلوريدات وسيليكات الكالسيوم والمغنسيوم ونترات الكالسيوم أو أيونات العناصر ثنائية التكافؤ والتى لا تزال بغلى الماء. القلوية هى قدرة الدرء فى الماء (Buffering Capacity) وتربيط ارتباطا وثيقا بالعسر. والقلوية تنتج عادة عن أيون الأيدروكسيد والبيكربونات والكربونات كما تسهم أيونات أخرى إن وجدت مثل البوارت والفوسفات والسيليكات والأحماض العضوية بدرجة صغيرة. ويعبر عن الأن أيونات (Anions) التى تسهم فى قلوية الماء مهما كان نوعها بالكمية المكافئة من كربونات الكالسيوم. وحين تكون قلوية المياه السطحية يسبب وجود كربونات وبيكربونات فإن قيمة القلوية الكلية تكون عادة قريبة من قيمة العسر. والمصدر الرئيس لعسر الماء هو الصخور الرسوبية وعادة ما يوجد الماء العسر فى مناطق بها تكوينات من الحجر الجيرى. المياه الجوفية اكثر عسرا بوجه عام من المياه السطحية. وعادة ما تكون للمياه الجوفية الغنية بحامض الكربونيك (ثانى اكيد الكربون المذاب فى الماء) قدرة على الإذابة للتربة والصخور من الجبس والحجر الجيري والدولوميت والكالسيت. والمصادر الأخرى للعسر هى الصناعات الكيميائية الغير عضوية، حيث يستخدم اكسيد الكالسيوم فى صناعة بعض مواد البناء وإنتاج لب الورق، وتكرير السكر ودباغة الجلود ومعالجة المياه. ويزال العسر من المياه للأغراض الصناعية أو لإنتاج البخار بالمعالجه الكيميائية بطريقة الجير/الصودا (Soda- lime process). او بالتبادل الايونى. عسر المياه فى المجارى السطحية العذبة عموما يشبه العسر فى مياه الشرب المنقولة بالمواسير إلى المستهلك فى المنازل. يتراوح عسر المياه مابين ١٠٠ ملجرام/ لتر الى ما يزيد عن ٥٠٠ مليجرام / لتر وإن كانت القيمة اكبر من ذلك غير شائعة.

وفى الطعام فان جميع الأطعمة تحتوى على عنصري الكالسيوم والمغنسيوم. الغذاء النمطي يوفر حوالي ١٠٠٠ مليجرام كالسيوم فى اليوم و من ٢٠٠- ٤٠٠

مليجرام ماغنسيوم فى اليوم. وعادة ما يكون المصدر السائد للكالسيوم والمغنيسيوم هو الطعام. وتعتبر منتجات الألبان مصدرا غنينا للكالسيوم أما المغنيسيوم فانه اكثر إقترانا باللحوم والمواد الغذائية ذات الأصل النباتي. على الرغم من إن الهواء والتعرض المهنى وتدخين السجائر يمثل مدخلا لتعرض الإنسان إلا أن إسهاماتها قليلة جدا مقارنة بالطعام. الطعام والماء هما المصدران الأساسيان. ويمثل الإسهام النموذجي للماء بالنسبة للمدخول الكلى من الكالسيوم حوالى ٥ –٢٥ % وللمغنيسيوم حوالى من ٥ – ٢٠ %.

ومن ناحية الأثر الصحي فهناك شواهد حول زيادة العسر فى مياه الشرب وزيادة حالات الحصوات البولية وكذا الوفيات بالسكتة القلبية وأمراض الأوعية الدموية إلا إن نتائج تأكيد هذه الدراسات لم تحسم حتى الأن، وقد إفترض ان الماء اليسر هو الذي يسبب المرض نظرا لانه يساعد على التآكل فى المواسير ووصول الملوثات من نواتج التآكل الضارة مثل الرصاص والكادميوم. وعموما مازالت الدراسات التى تقوم بها منظمة الصحة العالمية حول الأثر الصحي لعسر الماء والتى لم يتأكد أى منها حتى الان وقد أعطيت قيمة دليله للعسر الكلى ٥٠٠ مليجرام / لتر ككربونات كالسيوم. للكالسيوم ٢٠٠ مليجرام / لتر و للمغنسيوم ١٥٠ مليجرام / لتر. ومعايير العسر التي أصدرتها وزارة الصحة هى ٥٠٠ مليجرام / لتر. وعلى الرغم من ان ٢٠–٣٠% من الكالسيوم والمغنيسيوم فى الغذاء يتم إمتصاصه إلا أنه لم يتأكد حتى الان قدر الامتصاص لهذه العناصر من مياه الشرب.

٧ – الكبريتات : ٤٠٠ مليجرام / لتر

معظم الكبريتات تذوب فى الماء باستنثناء كبريتات الباريوم والرصاص والاسترينشيوم ويمكن أن تختزل الكبريتات الى الكبريتيد وتتطاير فى الهواء على هيئة كبريتيد الهيدروجين (H_2S) أو ترسب كملح كبريتيد غير مذاب. وتصل الكبريتات الى البيئة المائية من مخلفات الصناعات المختلفة. ويساعد على احتواء الماء من الكبريتات ثانى اكسيد الكبريت الناتج عن احتراق الوقود من الفحم

الحجري أو من بعض العمليات فى الصناعات المعدنية والذى يتأكسد الـــى ثـــالث أكسيد الكبريت الذي يتحد مع بخار الماء فى الجو مكونا حامض الكبريتيك ويتساقط كمطر حامضى الذى يتفاعل مع المواد العالقة ليكون أملاح الكبريتـــات. وتركـــيز الكبريتات فى معظم المياه العزبة منخفض جدا ويتراوح مابين ٢٠ إلى ٥٠ جـــزء فى المليون. ويمكن ان تضيف كبريتات الألومونيوم (الشبة) او كبريتات الحديديـــك او الحديدوز من ٢٠ الى ٥٠ جزء فى المليون الى المياه المعالجـــة. والكبريتـــات لاتزال من الماء بالطرق التقليدية لمعالجة المياه. وقد يبلغ / تركيز الكبريتات فـــى المياه المعدنية المعبأة فى زجاجات الى ٢٥٠ مليجرام / لتر او تزيـــد. والمدخـــول الغذائي اليومي من الغذاء شحيح حيث يبلغ فى المتوســـط ٤٠٠ جـــرام. وجرعـــة الكبريتات من ١ – ٢ جرام لها تأثير مسهل للإنسان. ويـــؤدى تركـــيز كبريتـــات المغنيسيوم ١٠٠٠ مليجرام / لتر إلى الإسهال فسيولوجيا للشخص العادي والتركـــيز الأقل من ذلك غير ضار فسيولوجيا. والشخص الحساس يستجيب لمســـتويات مـــن كبريتات المغنيسيوم ٤٠٠ مليجرام / لتر ويتكيف الجسم البشرى بمرور الوقت مـــع التركيزات العالية من الكبريتات فى مياه الشرب. وتركيز الكبريتات الذي يؤثر على الاستساغة والمذاق لمياه الشرب هـــو ٢٠٠ – ٥٠٠ مليجـــرام/ لـــتر لكبريتـــات الصوديوم، ٢٥٠– ٩٠٠ مليجـــرام / لـــتر لكبريتـــات الكالســـيوم، ٤٠٠ – ٦٠٠ مليجرام/لتر لكبريتات المغنسيوم. واقترحت تركيزات الكبريتات فى المياه الشـــرب لتكون ٤٠٠ مليجرام/لتر استنادا إلى المحافظة على الاستساغة والمـــذاق وتجنبـــا لتأثيرها المسهل.

المياه المحتوية على أملاح الكبريتات بتركيز اكثر من ٣٠٠ مليجرام / لتر قـــد تختزل هذه الكبريتات فى حالة نقص الاكسجين المذاب فى الماء عن ٠,١ مليجـــرام /لتر والذى يساعد على نشاط البكتريا اللاهوائية المختزله للكبريتات وتكون نواتـــج الاختزال هى كبريتيد الهيدروجين الذى يذوب فى الماء محدثا تغير غير مقبول فـــى رائحة وطعم المياه. وعند توفر الأكسجين بعد ذلك يتحول كبريتيد الهيدروجين الـــى حامض الكبريتيك الذى يسبب التآكل للمواسير المعدنية والاســـمنتية. ولـــهذا يلـــزم المحافظة دائما على وجود الاكسجين فى الماء من خلال المحافظة على معدل ثابت لتدفق المياه فى الشبكة وعدم وجود نهايات ميته أو مياه راكدة فـــى الشـــبكة هـــذا

بالاضافة الى اهمية وجود الكلور المتبقى فى الشبكة ما يوفر قدر لايقل عـــن ٠,١ مليجرام / لتر كلور متبقى فى صنبور اخر مستهلك فى الشـــبكة. وهـذا الكلـــور المتبقى يضمن القتل للكائنات الجرثومية وكذلك انواع البكتريا المختزلة للكبريتـات. كما يلزم المحافظة على نظافة خزانات الميـــاه مـــن الاتربـــه والأجســـام العالقـــة والملاصقة لجسم الخزان والتى تعلق بها البكتريا وتختبىء بما يقلل من تأثير الكلور فى التخلص منها. ونسبة ٣٠٠ مليجرام /لتر من الكبريتات فى التربة الرطبه تشكل مجال عدوانى اكيد لإفتقار التربة للاكسجين (التربة الطينية والطفليه) بمـــا ينشـط البكيريا المختزلة لكبريتات وتسبب التآكل للمواسير.

٨- الكلوريدات : ٥٠٠ جزء فى المليون

توجد الكلوريدات على نطاق واسع فى الطبيعة وتكون عادة فى شكل كلوريـــد الصوديوم وكلوريد البوتاسيوم وكلوريد الكالسيوم. والكلوريـــدات تشـــكل ٠,٠٥ % تقريبا من اليابسة والنسبة الكبيرة من كلوريدات البيئة توجد فى المحيطات. ويرجـع وجود الكلوريد فى الماء الى إذابة رواسب الملح والتلوث الناتج عـــن الصناعـات الكيميائية ومياه الصرف الزراعى والصحى وتسرب مياه البحـــر فـــى المنـــاطق الساحلية. ويمكن ان تتلوث المياه السطحية والمياه الجوفية لسهولة حركـــة ايونـــات الكلوريدات بما يمكنها من الانتقال الى قاع الخزانات الجوفية. والكلوريـــدات فـــى المياه السطحية منخفضة التركيز حيث يمكن ان يصل تركيزها الى أقـــل مـــن ٥٠ مليجرام / لتر فى المياه الغير ملوثه بينما قد تصل الى ١٠٠٠ مليجرام/لتر فى مياه الصرف الملوثة. وتوجد الكلوريدات فى الأطعمة ذات المنشأ النبـــاتى والحيوانـــى بمستويات تقل عادة عن ٣٦٠ جزء فى المليون. ويمكن ان يزيد اضافة الملح الـــى الطعام من مستوى الكلوريدات بشكل واضح. ومدخول الكلوريـــد اليومـــى يســـبب اضافة الملح الى الطعام من ٦ –١٢ جرام بينمـــا مدخـــول الكلوريـــد مـــن ميـــاه الشرب١٠٠ مليجرام تقريبا فى اليوم اما المدخـــول مـــن الـــهواء فإنـــه لايذكـــر. والكلوريدات تسهم بشكل كبير فى النشاط الاسموزى (التناضحى) للســـائل خـــارج الخلايا حيث يوجد ٨٨% من كلوريد الجسم خارج الخلايا. ويحتوى جسم الشـــخص

العادى الذى يزن ٧٠ كجم على ٨١،٧ جرام تقريبا من الكلوريد، ٤٥ لـــترا مـــن الماء. وامتصاص الكلوريد يكاد يكون كاملا فى جسم الإنسان.

من الضرورى ان يكون المدخول الغذائى اليومى من الكلوريـــدات حوالـــى ٩ مليجرام لكل كيلو من وزن الانسان بما يعادل ٦٣٠ مليجرام للشخص الـــذى يـــزن ٧٠ كيلو جرام وبما يعادل أكثر من جرام واحد للشخص العادى فى اليوم.

يبلغ حدود المذاق المستساغ لكلوريد الصوديوم ٢١٠ مليجرام / لتر ولكلوريـــد البوتاسيوم ٣١٠ مليجرام / لتر ولكلوريد الكالسيوم ٢٢٢ مليجرام / لـــتر. ويتـــأثر مذاق القهوة بصفة خاصة إذا أعدت بماء بـــه ٤٠٠ مليجـــرام / لتـــر ككلوريـــد صوديوم او ٥٣٠ مليجرام / لتر ككلوريد كالسيوم. وعمليات المعالجة التقليديـــة لا تزيل أيونات الكلوريد من الماء وعلى الرغم من ان مقدار الكلوريد المتناول يوميـــا من مياه الشرب لايمثل سوى نسبة قليلة من مجموع المدخول اليومي. فانه يوصـــى بقيمة دليله مقدارها ٢٥٠ مليجرام / لتر استنادا الى اعتبارات المؤثرات العضويـــة. وتشكل الكلوريدات في الماء عدوانية على المواسير المعدنيـــه وخاصـــة الصلـــب والزهر في حالة زيادة الكلوريدات عن ٦٠٠ جزء فى المليون حيث تسبب التـــآكل الثقبى. والكلوريدات توفر الحماية من التآكل للمواسير الخرسانية.

٩- الصوديوم: ٣٠٠ مليجرام / لتر

نتج عن زيادة تلوث المياه السطحية والجوفية خلال العقـــود الماضيـــة زيـــادة ملموسة فى محتوى مياه الشرب من الصوديوم. كما يمكن ان تســـهم فـــى زيـــادة مستويات الصوديوم فى مياه الشرب عمليات المعالجة لازالة العســـر مـــن الميـــاه باستخدام الصودا آش، وكذلك تلوث مصادر المياه بمياه الصرف المحتويـــه علـــى كبريتات الصوديوم من صناعات الأصباغ والألوان ولب الورق والورق وصناعات أخرى كثيرة تحتوى مخلفاتها على تركيزات متزايده من الصوديوم. كما يســـتخدم ملح الطعام (كلوريد الصوديوم) فى كثير من الصناعات الغذائية والأطعمـــة وفـــى تعبئة اللحوم وصناعات الألبان والأسماك. الصوديوم هو اكثر العنـــاصر القلويـــة وفرة. تحتوى التربة على الصوديوم فى الحدود ١-١٠ جرام/ كيلو جرام فى شـــكل

أملاح سيلبكات الصوديوم مثل الفيلدسبار. و بعض الخزانات الجوفية تحتوى علـــى تركيزات عاليه من الصوديوم بما يزيد من ملوحتها وذلك فى التربة الحاملة الملحية نتيجة شدة زوبان أملاح الصوديوم فى الماء. ويوجد فى المجارى السطحية العزبــة بنسب تتراوح مابين ١٠- ١٣٠ مليجرام / لتر. ويوجــد الصوديــوم فــى جميــع الأطعمة وفى تجهيز الطعام، فالبازلاء الطازجة تحتوى على ٩ مليجرام صوديـــوم فى الكيلو جرام بينما تقل هذه النسبة فى المعلبة والجافــة. وتحتــوى الخضـــروات والفواكة الطازجة على نسب ما بين ٠,٠١ - ١ جرام / كيلــو جــرام. وتحتــوى الحبوب وأصناف الجبن على ما بين ١٠-٢٠ جرام / كيلو جرام. ويتحقق ضبـــط توزان الماء والصوديوم من خلال سلسلة من العمليات المعقدة حيث يتم الحفاظ بفقد الصوديوم وليس بضبط امتصاصه خلال الأمعاء. ونظرا لأن الجسم يقوم بضبـــط مستويات الصوديوم فإنه لا يعتبر عنصر حاد السمية. وتشـمل أعــراض التســمم بالصوديوم التأثير العمومي للجهاز العصبي المركزي وزيادة الحساســية. وهنـاك دراسات تبين وجود علاقة بين مدخول الصوديوم وارتفاع ضغط الدم فى الانســان ويؤكد هذا أطباء القلب وأن كان هناك دراسات تخــالف ذلــك. ويعتــبر مدخــول الصوديوم اليومى ١,٦- ٩,٦ جرام عموما لا يحدث اى تأثير ضار علــى صحــة الإنسان. و لضمان ان تكون مياه الشرب مستساغة بالنسبة لغالبية المستهلكين فإنـــه ينبغى أن يكون تركيز الملح فى الماء مقارباً لتركيز الملح فى اللعاب والذى يبلغ فى المتوسط ٣٠٠ مليجرام / لتر. ويعتمد حدود الطعم والإستساغة لأملاح الصوديـــوم فى مياه الشرب على الآن أيونات (Anions) ودرجــة حــرارة المـــاء. كربونـــات الصوديوم هى صاحبه أدنى مستوى تركيز بالنسبة للإستساغة، فعند درجة حـــرارة الغرفة تكون فى حدود ٢٠ ملجرام / لتر، لكلوريد الصوديوم ١٥٠ مليجرام / لــتر، لنترات الصوديوم ١٩٠ مليجرام / لتر، لكبريتات الصوديوم ٢٢٠ مليجرام / لـــتر، لبيكربونات الصوديوم ٤٢٠ مليجرام / لتر. والقيمة الدليلة الموصى بها هـــى ٢٠٠ مليجرام / لتر والتي تستند الى حدود المذاق والاستساغة وليـــس الـــى اعتبـــارات صحية. وإذ كانت جمعية القلب الأمريكية قد أوصت بتركيز ٢٠ مليجرام / لتر مما يتطلب معالجات خاصة للمياه من المجارى السطحية العزبة مثل إزالـــة الملوحـــة،

حيث اعتبر من المواد ذات الأثر بالصحة العامة وليس ذات الأثر بالاستساغة كما أوصت به منظمة الصحة العالمية.

١٠- الألومنيوم: ٠,٢ مليجرام / لتر

توجد مركبات الألومنيوم بوفرة فى الطبيعة وكثيرا ما توجد فى الماء. وتستخدم مركبات الألومنيوم على نطاق واسع فى معالجة مياه الشرب بالمرشحات لإزالة المواد العالقة والعكارة. ومدخول الألومونيوم من الماء صغير إذا قورن بمدخوله من الطعام. ويزيد الألومونيوم فى الماء من تغير لون المياه فى شبكة التوزيع اذا زاد مستوى الألومونيوم عن ٠,١ مليجرام /لتر من المياه المعالجة ولهذا يوصى بقيمة دليلة فى مياه الشرب لا تزيد عن ٠,٢ مليجرام/ لتر إستناداً الى اعتبارات خاصة بقابلية واستساغة المياه للشرب. الالومينيوم موزع على نطاق واسع فى الطبيعة حيث يدخل فى تكوين جميع انواع التربة والنباتات وانسجة الحيوان ونتيجة لهذا يوجد الألومنيوم فى الهواء والطعام والماء سواء الطبيعى منها أو الملوث. وتحتوى المياه الحامضية بشكل طبيعى على مستويات عالية من الألومنيوم. وعلى الرغم من أن عمليات معالجة المياه تترك أقل مقدار ممكن من الألومنيوم فى الماء إلا أن بعضها يبقى فى الماء بكميات تترواح ما بين ٠,١ إلى ٢ مليجرام / لتر وطبقا لكفاءة عمليات المعالجة والترسيب والترشح. ومن مظاهر ضعف الكفاءة لعمليات المعالجة بالمرشحات زيادة الألومنيوم فى المياه المرشحة عن ٠,٣ مليجرام / لتر. وفى شبكة التوزيع ترسب مركبات الألومنيوم وتندمج مع مركبات الحديد والسيلكا محدثة إضطراب فى تدفق المياه فى الشبكة وضعف التصرف بالاضافة إلى التغير فى اللون ومذاق المياه نتيجة إحتواء هذه الرواسب على البكتريا حيث يتعذر عندئذ قتلها بالكلور. وتحدث هذه الظاهرة عند تجاوز تركيز الالومونيوم ٠,١ مليجرام / لتر فى المياه المعالجة.

ولايسهم الألومنيوم فى مياه الشرب إلا بنسبة صغيرة جدا من المدخول اليومي للإنسان حيث النسبة الأكبر تكون من الطعام. ويقدر المدخول اليومي من الغذاء بـ ٨٠ مليجرام في اليوم، ومن الماء ٤% من المخول اليومي من الغذاء. والالومنيوم

غير ضروري للإنسان فلا تمتص أملاح الألومونيوم عادة في الطعام ولكنها تكـون مركبات معقدة مع الفوسفات وتفرغ مع البراز. والاستعمال المزمن لكميات كبـيره من الألومنيوم (مثل إيدركوسيد اللألومنيوم المضاد للحموضة) يتسـبب فـي فقـد الفوسفات من الجسم بما يعمل على ضعف وألام العظام. والالومنيوم لا يتراكم فـي الانسجة باستثـناء العظام في حين تتراكم مركبات الألومنيوم المستنشقة في شـكل غبار في الرئة والعقد الليمفاوية.

وقد اقترن الألومنيوم ببعض الاضطرابات العصبية مثل مرض الزهايمر الـذي يصيب كبار السن بفقد الذاكرة، إلا أنة لم يتأكد إذا كان الالومنيوم هو السبب أم أنـة عامل مساعد لأسباب اخرى. والقيمة الدليلة الموصى بها لتركيز الألومنيوم لميـاه الشرب هى ٠,٢ مليجرام / لتر وان كانت وكالة البيئة الأمريكية قد أوصت بقيمـة دليلة ٠,٠٥ مليجرام / لتر لتأكيد أزالة مواد الترويب من الألومنيوم (الشـبة) قبـل دخول المياة إلى الشبكة.

جدول (٢) القيم الدليلة والمعايير للمواد غير العضوية ذات التأثير على الاستساعد والاستخدمات المنزلية

م	الخاصـية	دلائل منظمة الصحة العالمية	المعايير التى أصدرتها وزارة الصحة
١	الأملاح الكلية المذابة	١٠٠٠ مليجرام / لتر	١٢٠٠ مليجرام / لتر
٢	الحديد	٠,٣ مليجرام / لتر	٠,٣ مليجرام/لتر للمياه المرشحة،١مليجرام/ لتر لمياه الآبار
٣	المنجنيز	٠,١ مليجرام / لتر	٠,١ مليجرام للمياه المرشحة
٤	النحاس	١ مليجرام / لتر	١ مليجرام / لتر
٥	الزنك	٥ مليجرام / لتر	٥ مليجرام / لتر
٦	العسر الكلى	٥٠٠ مليجرام/ لتر.	٥٠٠ مليجرام/ لتر
٧	الكالسيوم	ـــ	٢٠٠ مليجرام /لتر
٨	المغنيسيوم	ـــ	١٥٠ مليجرام/ لتر
٩	الكبريتات	٤٠٠ مليجرام /لتر	٤٠٠ مليجرام /لتر
١٠	الكوريدات	٢٥٠ مليجرام/ لتر	٥٠٠ مليجرام/ لتر
١١	الألومنيوم	٠,٢ مليجرام / لتر	٠,٢ مليجرام / لتر

القسم الثالث

المواد الغير عضوية ذات التأثير على الصحة العامة

١- الرصاص : ٠,٠٥ مليجرام / لتر :

يوجد الرصاص فى الطبيعة ضمن مكونات القشرة الأرضية بتركيز متوسط ١٦ جزء فى المليون ويكون غالبا فى شكل كبريتيد الرصاص. ويوجد الرصاص فى الشكل الغير عضوي عموما (فى البيئة فى الهواء والطعام والماء والتربة). كما يحدث تلوث نتيجة عمليات التعدين والصهر أو استعمال المنتجات المصنوعة من الرصاص. وتنتج مقادير صغيرة من الرصاص العضوي نتيجة استعمال الجازولين المحتوى على الرصاص نتيجة عمليات الألكله (Alkylation) التي تنتج ميثيل الرصاص. ويستخدم الرصاص فى صناعة مراكم الأحماض ومواد اللحام والاصباغ والذخيرة وتغليف الكابلات وعازل للأسقف وصناعة مواسير الصرف وفى توصيل المياه من البريزة (Saddle) المركبة على ماسورة التغذية الى وصلة المياه بالمنزل وذلك لسهولة تشكيلها وتم ايقاف استخدامها لأسباب بيئية واستبدلت بوصلات من البلاستيك الاقل فى التكلفة. ومحتوى المياه الطبيعية فى المجارى السطحية العزبة من الرصاص يتراوح بين ١ - ١٠ جزء فى المليون. المعالجة بالمروبات تزيل نسبة كبيرة من املاح الرصاص بما يقلل من نسبتة فى المياه المعالجة عن الموجود فى المياه الطبيعية. ولكن يمكن أن تصل الملوثات من املاح الرصاص من خلال شبكة توزيع المياه عند استخدام مواسير من الرصاص أو اللحام باستخدام الرصاص. عندئذ يزداد تركيز الرصاص فى الماء المعالج

وخاصة عندما يقل عسر المياه او ينخفض الرقم الهيدروجينى. وعلى اساس استهلاك لترين من الماء فى اليوم فان المدخول اليومى من الرصاص يتراوح ما بين ۰,۰۲ الى ١ مليجرام / لتر على اساس استهلاك جميع الرصاص.

وعند استعمال الماء فى الطهى تكون فرصة اضافية لتناول الرصاص من الماء. ويوجد الرصاص فى كثير من المواد الغذائية وخاصة المعلبة عند استخدام اللحام من الرصاص كما يوجد الرصاص فى الخضروات الطازجة والحبوب والفواكه بمقادير صغيرة طبقا لتركيز الرصاص فى التربة والامتصاص المحدود بواسطة النبات. وقد يوجد الرصاص فى المواد الغذائية نتيجة ترسيبات الرصاص من الهواء الجوى عند تركها معرضة وخاصة الالبان ومنتجات الألبان. ويمكن أن يحدث تلوث إضافى من الطعام عند الطهى فى أوانى بها لحامات من الرصاص أو الآنية الخزفية التى يدخل الرصاص فى صناعتها. ولذا فان المصدر الأكبر للرصاص بصفة عامة هو الطعام. وفى الريف تكون تركيزات الرصاص فى الهواء حوالى٠,١ مليجرام / م^{٣} بينما تصل فى المدينة من ٠,٥ إلى ٢ ملجرام / م^{٣}. ويرجع تلوث الهواء بالرصاص إلى كثافة حركة مرور السيارات المستخدمة للجازولين المحتوى على الرصاص. معظم الرصاص الموجود فى الهواء يكون على شكل جسيمات دقيقة وعند استنشاق هذه الجسيمات لايرسب منها فى الجهاز التنفسى سوى ٢٠ – ٦٠%. وعلى أساس حجم تنفس يومى من الهواء قدره ٢٠م^{٣} فى المتوسط يكون المدخول اليومى لساكن المدينة المعرض لواحد مليجرام / م^{٣} من الرصاص فى اليوم وبمعدل إمتصاص ٤٠% هو ٨ ملجرام. ويمكن أن تكون مستويات الرصاص فى مناطق العمل الصناعى أعلى كثيرا عن مستويات البيئة العامة. مصدر التعرض للرصاص من التبغ صغير نسبيا. وقد عرفت الجرعات العالية من الرصاص بأنها سم تراكمى عام. ومن أعراض التسمم الحاد التعب والإنهاك والتوعك المعوى وفقر الدم والرصاص يتداخل فى تنظيم نقل الاكسجين وتحقيق الطاقة، وترتبط زيادة الرصاص فى الدم طبقا لمستوى الرصاص فى مياة الشرب. كما وجد أن مستويات الرصاص العالية فى الدم (٤٠٠ ملجرام /لتر) فى الأطفال ذوى التخلف العقلى.

والرصاص يؤثر على تكوين الدم والجهاز العصبى والكلوى والقلبى والتناسلى ولم يثبت للرصاص ضرورة لقيام الأجهزة الحيوية بوظائفها مما يتطلب أن يكون التعرض للرصاص منخفضاً قدر الإمكان وبما لايتعدى ٣ ملجرام في الأسبوع (بمعدل ٠,٠٥ ملجرام / كيلو جرام من وزن الانسان) وتقل هذة النسبة للأطفال نظرا للنمو السريع وأن امتصاص الرصاص لديهم أعلى عما هو عند البالغين وأنهم أكثر استعدادا للتأثر. والرصاص يسبب ارتفاع فى ضغط الدم مع احتمال انه مسرطن عند الجرعات العالية وقد أوصت وكالة البيئة الأمريكية (usepa) بأقصى مستوى للتلوث بالرصاص ٠,٠٠٥ ملجرام / لتر فى مياه الشرب وأن كانت منظمة الصحة العالمية قد أقترحت نسبة ٠,٠٥ ملجرام / لتر وهى المعايير المأخوذة بها فى مصر.

٣- الزرنيخ: ٠,٠٥ مليجرام / لتر

يوجد الزرنيخ بشكل طبيعي فى جميع الأوساط البيئية وعادة ما يوجد فى شكل مركبات متحدا مع الكبريت ومع فلزات كثيرة عند صهر خاماتها وخاصة خام النحاس والكوبالت والرصاص والزنك. وقد يوجد الزرنيخ فى مجارى المياه نتيجة النحر فى الصخور السطحية.

ويبلغ تركيز الزرنيخ فى القشرة الأرضية ٢ جزء فى المليون. ويوجد الزرنيخ فى شكل الغير عضوى أو قد يكون متحدا مع مركبات عضوية. كثيرا من مركبات الزرنيخ تذوب فى الماء وتلوثه. الزرنيخ موجود فى معظم المواد الغذائية بتركيز اقل من واحد جزء فى المليون من وزنها الجاف وان كانت الاسماك البحرية تحتوى على مستويات اعلى من ذلك فقد يحتوى المحار على مستويات تزيد عن ٥٠ جزء فى المليون. ويوجد الزرنيخ فى الاطعمة البحرية أساساً فى شكل عضوى ويصل المدخول اليومى من المصادر الغذائية فى المتوسط ٣٠ جزء فى المليون من وزن الانسان. يحتوى الهواء فى المناطق الريفية وغير الحضرية على مستويات منخفضة جدا من الزرنيخ اقل من ٠,٠١ ملجرام / م^{٣}. وقد يبلغ متوسط التعرض للزرنيخ المنقول بالهواء ٠,٢ ملجرام /م^{٣} على شكل زرنيخ غير

عضوى أساساً كما تزداد مستويات التعرض للزرنيخ من الهواء والتربة حيث توجد مصانع صهر المعادن. ويحتوى التبغ على بعض الزرنيخ وان كانت مستويات الزرنيخ انخفضت الآن نتيجة التقليل من استخدامه فى رش نباتات التبغ. كما توجد بعض المستحضرات الدوائية المحتوية على الزرنيخ. وبمقارنة المدخول الكلى نجد ان اسهام الماء قليل نسبة الى التعرض الشامل فعند مستوى ٠,٠٥ مليجرام /لتر من مياه الشرب فانه يساوى او يزيد عن اجمالى المدخول عن غير طريق التعرض المهنى.

ويؤثر الشكل الكيميائى للزرنيخ على امتصاصه، فنرى أن عنصر الزرنيخ يمتص بمعدل منخفض جدا بينما مركبات الزرنيخ اللاعضوية ثلاثية وخماسية التكافؤ تمتص بسهولة. وعند التعرض للزرنيخ فانه يدخل إلى الدم ثم إلى الكبد أساسا والكلى والطحال والعضلات والجلد. كما توجد كميات صغيرة منه فى الرأس والقلب والرحم والدرقية والبنكرياس والشعر والأظافر. إفراغ مركبات الزرنيخ يتم عن طريق البول. لا يوجد دليل حاسم على أن الزرنيخ بأى من أشكاله الكيميائية ضرورى للإنسان وان كانت بعض مركباته مفيدة لنمو الحيوانات. وتتوقف كمية الزرنيخ على الشكل الكيميائى والفيزيائي للمركب وطريقة دخوله إلى الجسم والجرعة ومدة التعرض والعمر والجنس للفرد المتعرض.

الزرنيخ الغير عضوى اكثر سمية من الزرنيخ العضوى. الزرنيخ الغير عضوى ثلاثى التكافؤ اكثر سمية من خماسى التكافؤ ولذا يوصى عندما يتبين أن الماء يحتوى على زرنيخ بمستويات ٠,٠٥ مليجرام /لتر التأكد من تكافؤ العنصر الزرنيخى وشكله الكيميائى، حيث أن الزرنيخ الثلاثى يمكن أن يضعف كثيرا من أجهزة الإنسان.

ويشمل التسمم الحاد بالزرنيخ إصابة الجهاز العصبى المركزى كما يمكن أن يصاب الجهاز الهضمى والعصبى والتنفسى والجلد بإصابات شديدة. ويظهر التسمم مع جرعات تبلغ فى الانخفاض من ٣-٦ مليجرام /اليوم على مدى فترات طويلة حيث الإصابة بالضعف العضلى العام وفقد الشهية والغيثان والتهاب الأغشية المخاطية فى العين والأنف والحنجرة كما يمكن أن تحدث أمراض جلدية وأورام

خبيثة وكذلك الإصابة بسرطان الجلد عند تركيز ٠,٢ مليجرام /لتر من مياه الشرب.

وتؤدى الجرعات من ٧٠-١٨٠ مليجرام /لتر إلى الوفاة كما أن التعرض المهنى العالى يسبب الإصابة بسرطان الرئة. ومعايير الزرنيخ فى مياه الشرب هى ٠,٠٥ مليجرام / لتر.

٣- السيانيد: ٠,٠٥ مليجرام / لتر

يوجد السيانيد حيثما توجد الحياة والصناعة فى شكليه العضوى والغير عضوى واكثر أشكال السيانيد شيوعا هو سيانيد الهيدروجين (HCN) وأملاح السيانيد تتحلل فى الماء لتعطى حامض الهيدروسيانيك. أيون السيانيد يمكن أن يتفاعل ويتحد مع أيونات الفلزات الثقيلة لتكوين مركبات معقدة (Complex) بعضها شديد الثبات. السيانيد يستخدم فى كثير من العمليات الصناعية مثل إنتاج البولى الأكليرك (Polyacrylonitrile) وهى بلمرات لها استخدامات كثيرة كما يستخدم السيانيد فى استخلاص الذهب والفضة كمذيب وفى عمليات الطلاء الكهربى للمعادن بالذهب والفضة وغيرها ويمكن أن يلوث الماء والهواء من خلال هذه العمليات الصناعية كما أن الاستخدام العرضى للسيانيد فى إبادة الهوام يمكن أن يكون مصدرا لتلويث المياه. معظم أملاح السيانيد تذوب فى الماء وكذلك سيانيد الهيدروجين مكونا حامض. وتذوب معادن الذهب والفضة والزئبق والرصاص فى محلول سيانيد الصوديوم مع امتصاص الأكسجين وكذلك تذوب معادن النحاس والنيكل والحديد والزنك والألومنيوم والمغنيسيوم مع إنتاج هيدروجين. أملاح السيانيد التى تذوب فى الماء هى سيانيد الصوديوم، البوتاسيوم، الكالسيوم، الذهب.الزئبق ولكن كلا من سيانيد الفضة وسيانيد النحاس لا يذوبا فى الماء. تكون أيونات السيانيد مركبات معقدة مع البوتاسيوم والحديد ومع النحاس والحديد ومع بعض الأحماض مثل حامض (Thiocianic Acid-HCNS) ومع الايسترات. ويتحول السيانيد إلى السيانات الأقل سمية بكثير عند رقم هيدروجيني ٨,٥ فأكثر.

ويمكن القول أن السيانيد فى الماء الخام منخفض لأقل من ٠,١ مليجرام / لتر. إلا فى حالة التلوث الخطير الذى يرجع إلى صرف مخلفات الصرف الصناعى فى المجارى المائية وخاصة صناعات معالجة المعادن والكوك والغاز وغزل الصوف وصناعات كيماوية كثيرة. إضافة الكلور لمياه الشرب يساعد فى المجال المتعادل على خفض السيانيد فى الماء وعند اضافة جرعات عالية من الكلور عند رقم هيدروجينى منخفض يتحول السيانيد إلى سيانات غير ضارة ثم إلى ثانى اكسيد الكربون والنيتروجين. تحتوى معظم الأطعمة على أثار من السيانيد وبعضها يحتوى على نسبة مرتفعة وخاصة ذات الأصل النباتى مثل اللوز كما يمكن أن يوجد السيانيد فى الأسماك التى تعيش فى المياه الملوثة. تتحلل أملاح السيانيد عند التسخين ولذا فإن الأطعمة المطهية تحتوى على مستويات قليلة جداً. المدخول اليومى من السيانيد عن طريق الأطعمة منخفض جدا.

أيون السيانيد يمتص بسهولة وسرعان ما تحدث تأثيرات شديدة السمية والتى تعيق عمليات الأكسدة حيث يثبط امتصاص الخلايا للأكسجين. والتعرض المنخفض للسيانيد ليس مميتاً لمن لديهم جهاز مقاومة قوى لازالة السمية والذى يحول السيانيد إلى الثيو سيانات الغير ضاره مع المستويات المنخفضة من ٢,٩ – ٤،٧ مليجرام / اليوم. عادة ماتكون جرعة واحدة من ٥٠– ٦٠ مليجرام مميتة للانسان نظرا لأن المدخول اليومى من السيانيد عن طريق الأطعمة منخفض جدا وعلى أساس أن المصدر الرئيسي للسيانيد هو مياه الشرب فقد تحدد معيار السيانيد في مياه الشرب بما لايزيد عن ٠,٠٥ مليجرام / لتر.

٤– الكادميوم: ٠,٠٠٥ مليجرام / لتر

يوجد الكادميوم فى أنحاء معينة من العالم وبمقادير ضيئلة فى القشرة الأرضية. كما يوجد خام الكادميوم والذي يسمى جرينوكيت (Greenockite) بكميات صغيرة مع خام الزنك. وخام الكادميوم يتكون من كبريتيد الكادميوم، كبريتات الكادميوم ويوجد مختلطا بخام الزنك من كبريتيد الزنك وكربونات الزنك. عادة ماينتج الكادميوم كمنتج ثانوي عند استخراج الزنك.

وقد تزايد استخدام الكادميوم وزادت اهميته خلال النصف الثانى من القرن العشرين، وبذلك بدأ فى تلويث البيئة حيث يوجد فى التربة والهواء والماء والطعام. والاستعمال الرئيسى للكادميوم هو فى صناعة السبائك المعدنية ومواد اللحام وطلاء المعادن وفى مواد الصباغة وصناعة البطاريات وكمثبت لمنتجات البلاستيك. وعادة ماتكون مستويات الكادميوم فى إمدادات مياه منخفضة جداً حيث لا توجد سوى مقادير ضئيلة جداً فى إمدادات المياه الخام، وفى حالة إرتفاع المستويات بعض الشئ فإن كثيراً من الكادميوم يزال بإستخدام المروبات عند المعالجة بالمرشحات. ويتأثر ذوبان الكادميوم فى اطار طبيعة مصدر الكادميوم وحموضة الماء. المياه السطحية المحتوية على ميكرو جرامات قليلة فى اللتر تكون نتيجة التلوث بمياه الصرف الصناعى أو من مقالب القمامة. وتقترن المستويات المرتفعة من الكادميوم فى مياه الصنبور بالمواسير المنزلية او المواسير المجلفنة بالزنك وكذلك سبائك اللحام و تآكل مهمات السباكة من الصلب والنحاس الذى يدخل الكادميوم فى مكوناتها او طلائها بما يعطيها اللون الفضى.

وتحتوى مياه الشرب عادة على تركيز منخفض جدا من الكادميوم وان كانت مياه الابار تحتوى على تركيزات مرتفعة من الكادميوم. ويزداد تركيز الكادميوم فى المياه اليسر وذات الرقم الهيدورجينى المنخفض حيث ان حالة المياه هى التى تساعد على تأكل طلاء المواسير ومادة الجلفية من الزنك الذى يحتوى على الكادميوم وكذلك معدن الكادميوم من مكونات سبائك الصلب المقاوم وبعض سبائك النحاس والكادميوم المستخدم فى طلاء المهمات المعدينة.

يزداد التلوث مع بطئ حركة المياه وزيادة زمن وجودها فى الشبكة. ويتراوح التعرض اليومى للكادميوم عن طريق الماء على اساس استهلاك ٢ لتر فى اليوم الى اقل من واحد ملجرام / لتر او اكثر الا انه يمكن ان يكون جميع الكادميوم غير مستهلك نظرا لالتصاقه بأسطح الآنية فى اعداد مشروبات معينة مثل الشاى. معظم المواد الغذائية تحتوى على أثار من الكادميوم وتحتوى المحاصيل المنتجة فى التربة الملوثة بالمخلفات الصناعية أو رويت بمياه ملوثه على تراكيز أكبر وكذلك لحوم الماشية التى ترعى فى مزارع ملوثه. وكلية الحيوانات وأكبادها تركز الكادميوم

ومن يتناول هذه الأطعمه يتناول جرعات زائدة من الكادميوم. والمحار يميل الى تكديس الكادميوم، ومصدر اضافى آخر للكادميوم هو سماد الفوسفات.

معظم المواد الغذائية تحتوى على اقل من ٠,١ مليجرام / كيلو جرام رطب وتتراوح المدخلات الغذائية النمطية من ١٥ –٦٠ مليجرام كادميوم فى اليوم. أما عن الكادميوم فى الهواء فيمكن القول بصفة عامة أن مستوياته منخفضة وقد تصل تركيزاته أقل من ٠,٠٠١ الى ٠,٠٥ مليجرام /م^{٣} تبعا لوجود الصناعات الباعثه للكادميوم. فقد تصل إلى ٣,٥ مليجرام / م^{٣} للقيم العالية للتلوث. والجسيمات التى ترسب و تحتجز فى الرئة ٢٥ % من الجسيمات الموجودة فى الهواء الجوى.

ويوجد الكادميوم فى التبغ فالسيجارة تحتوى على ١–٢ مليجرام. و لما كان الكادميوم يتطاير عند درجات الحرارة المرتفعة فإن بعضه يستنشق أثناء التدخين. عادة ما يستنشق ٢–٤ مليجرام من الكادميوم لكل ٢٠ سيجارة ويحتمل ان يرسب ٥٠% منها فى الرئتين.

والكادميوم يمتص بسهولة عند التناول فى الغذاء أو الماء أو من خلال الرئتين. ويتأثر الامتصاص الغذائى بعدد من العوامل مثل السن ونقص الكالسيوم والحديد والزنك والبروتين والشكل الكيميائى. الكادميوم المتناول كما هو الحال مع الرصاص من المحتمل أن تؤثر حالة المعدة على الكمية الممتصة كما أن نقص الحديد والكالسيوم والبروتين يزيد من معدل الامتصاص المعدى المعوى. ويتوقف الإمتصاص الرئوى على حجم وزوبان الجسيمات المحتوية على الكادميوم حيث يحتبسس فى الرئة مايقرب من ٥٠% من الجسيمات التى يبلغ حجمها ٠,١ ميكرومتر بالمقارنة بـ ٢٠% من الجسيمات التى يبلغ حجمها ٢ ميكروميتر وقدرت نسبة ٢٥الى ٥٠ % من الجسيمات تحتبس فى كل من حالات الهواء العام ودخان التبغ.

ونظراً لأن التعرض للكادميوم وارد من الماء والطعام والهواء والتعرض المهنى فقد أوصت منظمة الصحة العالمية ألا يزيد المدخول الأسبوعى من الكادميوم عن ٠,٥ ملجرام للشخص. يدخل الكادميو الممتص الى الدم ويتركز فى

اجزاء معينة من الجسم وتعمل الكلى والكبد كمخازن للكادميوم (حيث يحتوى هذين العضوين على ٥٠% من الكادميوم المتراكم).

والكادميوم يزداد تراكمه مع العمر ولقد وجد ان المشيمة تعمل كحاجز فعال الى حد ما للكادميوم لهذا فان المواليد يكونون خاليين تماما منه (مايقرب من واحد ملجرام فقط) بينما من هم فى الخمسنيات يمكن ان يختزنوا فى اجسامهم ٥٠-٦٠ ملجرام. وعادة ما تكون مستويات الدم اقل من ٢٠ ملجرام فى التر بالنسبة لغير المدخنين، وعملية افراغ الكادميوم بطيئة عادة وتتم عن الطريق البول اساسا. وعن التاثيرات الصحيه فقد ظهرت تأثيرات حادة حينما تلوث الطعام عند استخدام الآنية المطلية بالكادميوم وهذه التأثيرات هى امراض معديه ومعويه شديدة. وتأكدت التأثيرات الصحية بالنسبة للعمال المعرضين لأدخنة وغبار اكسيد الكادميوم حيث ظهرت حالات التهاب فى القصبة الهوائية وفقر الدم وحصوات فى الكلى نظرا لان الكلى هى العضو الاساسى لتراكم الكادميوم فى جسم الانسان.

وتقترن التأثيرات الكلوية للتسمم بظهور البروتين والسكر والاحماض الامينيه فى البول. كما ان هناك دلائل على حدوث ضغط الدم المرتفع بعد تعرض غذائى منخفض طويل المدى، وكما ان الكادميوم فى مياه الشرب يقلل من امتصاص الحديد فى المعده والامعاء. والتعرض الشديد للكادميوم والممتد يشكل خطرا متزايداً للاصابة بسرطان البروتستاتا ولقد اتفق فريق دراسة لمنظمة الصحة العالمية على قبول قيمة ١٠ مليجرام / لتر فى الدم كمستوى لعدم حدوث تأثير ضار، وهذا يتطلب ألا يزيد مدخول الكادميوم للشخص البالغ فى اليوم عن ٥٠-٧٠ مليجرام. وقد قدرت الجرعة المميته بعدة مئات من المليجرامات. وقد أوصى ألا يزيد محتوى الكادميوم فى مياه الشرب عن ٠,٠٠٥ مليجرام / لتر.

٥- السيلينيوم: ٠,٠١ جزء من المليون

السيلينيوم من العناصر التي يحتاجها جسم الإنسان بمقادير معينه. يوجد السيلينيوم فى خامات معدنية مختلفة أساسا فى خام الفضة والنحاس كما يوجد السيلينيوم مع الزنك والنحاس. والمصدر الرئيسى للسيلينيوم هو استخلاص

النحاس حيث يحتوى أنود النحاس الذى يتم ترسيبه على الكاثود بنسبة ٩٩,٩% حوالى من ٠,٠٣ الى ٠,٠١٤% من السيلينيوم، وكذلك الخبث الناتج من صهر النحاس قد يحتوى على ٩,٨% سيلينيوم.

ويستخلص السيلينيوم من النحاس بمعدل ٠,٦٦ رطل من كل طن من النحاس أو عند تحميص خام كبريتيد الحديد لانتاج حامض كبريتيك حيث يتكون أكسيد السيلينيوم الذي قد يذوب فى الماء مكونا حامض ($H_2Se_4O_4$) وكلا من الحامض والاكسيد يذوبان فى الماء. وأملاح السيلنيوم مع الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم والكبريت لاتذوب فى الماء ومركباته مع الكلور والبروم والفلور تذوب فى الماء. ويستخدم معدن السيلينيوم فى الخلايا الضوئية وكمثبت للتيار الكهربابى ويضاف السيلينيوم الى مسبوكات الصلب والنحاس لتحسين خصائص التشغيل الميكانيكى للسبائك.

وتستخدم سبائك السيلينيوم مع النحاس لانتاج سبيكه عاليه التوصيل الكهربى وكذلك فى صناعة الزجاج لازالة اللون الأخضر للحديدوز وتستخدم سيلينات الصوديوم لانتاج الزجاج الاحمر النظيف وكذلك لعمل التزجيج باللون الاحمر. اضافة ١-٣ % من السيلينيوم يزيد مقاومة البرى للمطاط ويستخدم فى كيماويات التصوير والطبع ورغم ان معدن الفلز يعتبر غير سام الا ان كثيرا من مركباته تعتبر سامة مثل غاز سيلينيد الهيدروجين وهو ذو رائحة كريهة. التربة المحتوية على السيلينيوم تسبب السميه للإنسان والحيوان الا انه قد ظهرت أمراض متوطنة لحيوانات الزراعة فى مناطق ذات مستويات منخفضة من السيلينيوم وعلى الجانب الأخر ترتب على جرعات العاليه من السيلينيوم ظهور أمراض أخرى فى حيوانات الزراعة. من الدراسات التى أجريت على الإنسان وجدت أدلـه ان السيلينيوم ضرورى لصحة الانسان وان المدخول المنخفض يسبب مرض عضله القلب عند الأطفال ومع المدخول المرتفع تحدث اضطرابات معديه معويه وتلون للجلد ومرض الأسنان وتسوسها.

وباستثناء من يتعرضون مهنيا حيث التعرض من خلال الهواء والتلامس الجلدى فان تعرض عامة السكان للسيلينيوم يكون عن طريق الطعام ومستوياته.

الأغذية الخضروات والفواكه تمثل مصدرا غذائيا ضعيفا علـى نقيض الحبـوب واللحوم وخاصة لحوم الأعضاء الداخلية. والتركيب الكيماوى للتربة ومحتواها مـن السيلينيوم له تأثير واضح على محتوى السيلينيوم فى الحبوب والذى يتراوح ما بين ٠,٤ حتى ٢٠ جزء فى المليون. يتراوح المدخول الغذائى من السيلينيوم للأشخاص الأصحاء حوالى ٢٠ جزء فى المليون. وتقدر الأغذية النموذجيـة حوالـى ١٠٠-٢٠٠ ملجرام / اليوم للسكان البالغين وقد تـزداد فى بعـض البلـدان الـى ٣٦٠ ملجرام / اليوم. التعرض التنفسى لايسهم كثيرا فى المدخول اليومى للسيلينيوم سواء عن طريق الهواء او عن طريق التدخين. املاح السيلينيوم القابلة للذوبان فى المـاء مثل سيلينات الصوديوم تمتص بسهولة بنسبة ٩٥%. السيلينيوم الممتص يوزع على نطاق واسع فى الاعضاء والانسجة مع وجود مستويات عالية فى الكبـد والكلـى. والسيلينيوم ينفذ من خلال المشيمة وكذلك إلى اللبن ويتوقـف ذلـك علـى شـكله الكيمائى. وفى ظروف التعرض السائد بين السكان يسود افراغ السيلينيوم البولـى. ويتوقف معدل التخلص على الشكل الكيمائى للسيلينيوم المأخوذ. وتبين المعطيـات المتاحة عن الانسان ان السيلينيوم المعطى على هيئة سيلينات يفـرغ مـن الجسـم بمعدل اسرع مما لو اعطى على شكل عضوى مثل السليوميترين. وتوجـد بعـض التناقصات عن تأثيرات السيلينيوم العاليه فى مياه الشرب فقد افـادت بعضـها أن السيلينيوم الزائد عن الضرورى للغذاء واق ضد ظهور السرطان فـى حيوانـات التجارب. وقد افترضت وكالة البيئة الأمريكية مستوى ٠,٠١ مليجرام / لـتر فـى مياه الشرب وعدل ليكون ٠,٠٥ مليجرام / لتر. والمعدل المقرر فى مصر حاليا هو ٠,٠١ مليجرام / لتر.

٦- الزئبق: ٠,٠٠١ مليجرام /لتر

الخام الرئيسى لعنصر الزئبق هو كبريتيد الزئبق أو السينابار (Cinabar- HgS) و يوجد خام الزئبق فى عدد قليل من دول العالم وهى امريكا، روسـيا، الصيـن، أسبانيا، المكسيك، ايطاليا، يوغوسلافيا، الفلبين. والسينابار يوجد نتيجـة الأنشـطة البركانية. والزئبق يستخدم فى صناعة الأجهزة الكهربائيـة وفـى انتـاج الكلـور والصودا الكاوية بالتحليل الكهربى حيث يستخدم كاثود، كما يستخدم فى منع التراكم

البيولوجى (Anti Fouling) وفى أجهزة القياس والتحكم وفى الصناعات الدوائية وفى علاج الأسنان وفى صناعة المبيدات وصناعة الورق ولب الورق وفى بعض الصناعات الكيميائية. ويستخدم كمملغم فى الصناعات المعدنية.

ويحدث التسمم بالزئبق فى مناجم إنتاج الخام وعمليات التصنيع لإنتاج الزئبق أو مستحضراته. الزئبق يمكن أن يتشتت إلى جسيمات متناهية فى الصغر. كما يمكن الحصول على بودرة الزئبق الرمادية يرج الزئبق مع الدهون أو التباشير أو السكر أو الكحول وكذلك مع عدد من المواد الأخرى. يحدث التسمم عند التداول مع عدم الحذر من قدرة الزئبق على التشتت. ولما لهو من كثافة نوعية عالية ١٣,٦ ولذا يلزم الحذر عند تداول واستخدام الزئبق مع البحث عن بدائل لإستخداماته حيث يمكن استخدام النحاس وعدد كبير من المركبات العضوية فى عدد كبير من الصناعات ومنها الزراعية وغيرها. وقد أستبدل فى صناعة العقاقير الدوائية بعقاقير الكبريت واليود والمطهرات كما استبدل مملغم الزئبق فى طب الأسنان بمسحوق المعادن والبورسلين والبلاستيك وأصبحت مفضلة. والزئبق يذيب كثيراً من المعادن مكونا مملغم (Amalgam) عدا معدن الحديد ومعدن البلاتين. معظم مركبات الزئبق لاتذوب فى الماء عدا كلوريد الزئبق وأيدروكسيد الزئبق. وقد يوجد الزئبق فى البيئة فى شكل الفلز والأملاح أحادية وثنائية التكافئ والزئبقيات العضوية وأهمها هو ميثيل الزئبق، والذى يمكن أن يتكون عند تفاعل الزئبق مع غاز الميثان الناتج من التحلل اللاهوائى للمخلفات العضوية.

الأسماك والثدييات تمتص ميثيل الزئبق وتحتبسه مدى أكبر من الزئبق الغير عضوى. ويوجد الزئبق فى البيئة فى الغازات المتصاعدة من الأنشطة الصناعية المتصلة مباشرة بإنتاج الزئبق أو استخدامه بالإضافة إلى الغازات الصناعية المتصاعدة من القشرة الأرضية الملوثة بمخلفات مركبات الزئبق أوالمحتوية على خاماته. وفى معظم مياه المجارى السطحية نجد أن الأيدروكسيد والكلوريد هما النوعان السائدان من مركبات الزئبق وعادة ما تكون مستوياتهم أقل من ٠,٠٠١ ملجرام / لتر وقد تصل إلى ٠,٠٣ ملجرام / لتر. ومستويات الزئبق فى مياة الشرب المعالجة بالمرشحات عادة ما تكون منخفضة جدا نتيجة لإستخدام مواد

الترويب. وحيثما لا يوجد دليل على التلوث بالزئبق تكون مستويات الزئبق في مصادر المياه العزبة أقل من ٠,٠٠٠٢ ملجرام / لتر والتى تنخفض إلى أقل من ذلك أثناء معالجة المياه بالمرشحات.

الطعام هو المصدر الرئيسى للزئبق لدى السكان المعرضين بشكل غير مهنى، وميثيل الزئبق الموجود فى الطعام يعود معظمه إلى الأسماك ومنتجات الأسماك. نسبة إمتصاص الزئبق عن طريق الطعام ٨% وعن طريق الهواء تبلغ نسبة الإحتياس ٨٠% وعن طريق الماء يبلغ نسبة الإمتصاص ١٥%. وإمتصاص ميثيل الزئبق فى الطعام والماء يكاد يكون تاما. الزئبق لا يخدم أى وظيفة فسيولوجية نافعة للإنسان ولكل من مركبات الزئبق خواصها الذاتية كمادة سامة. تتراكم مركبات الزئبق اللاعضوية بسرعة فى الكلى التى هى العضو المستهدف الرئيسى لهذه المركبات وسرعان ما يظهر ميثيل الزئبق $(CH_3)_2$ Hg) فى الدم حيث يرتبط ٨٠ – ٩٠% بالخلايا الحمراء فى الإنسان. وتتم عملية التحويل من ميثيل الزئبق إلى الزئبق اللاعضوى بمعدل بطيئ. وترجع السمية الذاتية الكبيرة لميثيل الزئبق مقارنة بالزئبق اللاعضوي الى زوبانه فى الدهون وبذلك يسهل عبوره الأغشية البيولوجية الى الرأس والنخاع الشوكى والأعصاب المحيطية وعبر المشيمة. وتفرغ أملاح الزئبق من الكلية والكبد والغشاء المخاطى المعوى وغدد العرق والغدد اللعابية وخلال اللبن واهم سبل الأفراغ هى البول والبراز. وتأخذ التأثيرات الهامة للتسمم بالزئبق شكل الإضطرابات العصبية والكلوية التى تقترن أساساً بمركبات الزئبق العضوية واللاعضوية، حيث ان مركبات الزئبق اللاعضوية لا تمتص بسهولة فى الجهاز الهضمى وبالتالى لا تخترق الخلايا مثل ميثيل الزئبق العضوى.

لم تقترح منظمة الصحة العالمية قيمة دليلة للملوثات من مركبات الزئبق فى مياه الشرب ولكن وكالة البئية الأمريكية قد أقتراحت ٠,٠٠٢ مليجرام / لتر. اللجنة العليا لمياه الشرب فى مصر قد اوصت بمعايير للزئبق فى مياه الشرب لا تزيد عن ٠,٠٠١ مليجرام / لتر وهو المستوى المقرر.

٧- الكروم: ٠,٠٥ مليجرام / لتر

الخام الرئيس للكروم هو كرومات الحديدوز وينتج بتسخين الخام فـــى فــرن كهربى لإنتاج الفيروكروم الذى يستخدم فى صناعة سبائك الصلب. يتفاعل الكــروم مع الكلور والبروم. تستخدم أملاح الكروم مثل كبريتات الكروم فى صناعة النســيج والصباغة ودباغة الجلود وفى أحواض التثبيت والطباعة للصور الفوتوغرافية وفــى صناعة السيراميك. ولايتأثر الكروم بالرطوبة أو المــاء عنــد درجــات الحــرارة العادية. ولايذوب اكسيد الكروم فى الماء. وأملاح الكروم عوامل اخــتزال قويــة. ويستخدم اكسيد الكروم فى صناعة الزجاج الأخضر والأصفــر. أمــا الاســتخدام الرئيسى للكروم فهو فى صناعة السبائك مع معادن كثيرة، حيث يستخدم فى انتــاج الصلب لزيادة الصلابة. ويوفر الكروم فـــى ســبيكة الصلــب المقاومــة للتــآكل (Stainless Steel) وارتفاع درجات الحــرارة ومقاومـــة الكيمياويــات. ويضــاف الكروم فى صناعة سبائك النحاس كذلك. والاستخدام الأخر الرئيسى للكروم هو فــى تغطية أسطح المعادن بالترسيب الكهربى بما يعطيها اللون الجميل ومقاومة التـــآكل والبرى والاحتكاك كما فى حالة تغطية سبيكة النحاس مع النيكل. ولتغطية الزنـــك والكادميوم والألومنيوم والمغنيسيوم والنحاس فانها تتم بغمر هذه المعادن فى محلول محتوى على الكروم السداسى شديد السمية.

والكروم فى التربة قد يوجد فى الشكل الثلاثى التكافؤ ونادرا مـــا يوجــد فـــى الشكل السداسى التكافؤ. والكروم فى الطبيعية غير مذاب فى المــــاء الا ان تـــاثير الطقس والآثار الناتجة عن النشاط البيولوجيى قد تحوله الى المركب المذاب بنســبة قليلة. ولذلك فان معظم مركبات الكروم التى تذوب فى المياه تكـــون ناتجــة عــن التلوث بمخلفات الصناعة وخاصة الكروم السداسى. والشكل الثلاثى التكـــافؤ هــو الثابت نظرا لسهولة اختزال الكروم السداسى التكافؤ بظروف بيئيـــة مختلفــة مــن المواد العضوية. ومستويات الكروم الموجود فى الماء عموما منخفض نظراً لقلـــة ذوبانه فى الماء. تلوث المياه فى بعض الحالات يرجع الى الصرف الصناعى الغير معالج الذى يحتوى على مركبات الكروم فى المجارى المائية. ويكون الكروم فـــى الشكل الثلاثى أو السداسى التكافؤ فى شكل جسيمات عالقه او كملح مذاب وكثيرا ما

يكون كمركب كيماوى معقد. يتحول الكروم الثلاثى التكافؤ الى ايدروكسيد الكروم الغير مذاب فى المجال القلوى. وتقترن المستويات العالية للكروم فى الماء بدرجة العسر حيث تزاد مع زيادة عسر المياه. وقد تصل مستويات الكروم الكلى فى الماء الى ١٠ مليجرام / لتر. عادة ماتكون المياه المعالجة بالمرشحات اقل فى محتوها من الكروم من المياه الخام، ولذلك فان محتوى مياه الشرب من الكروم يكون بمقادير منخفضه جدا. قد يزداد التركيز فى مياه الشرب بسبب التصاق المياه فى المواسير والسباكة المحتوية على الكروم. ويندر وجود الكروم ثلاثى التكافؤ فى مياه الشرب المكلوره حيث يتأكسد الى السداسى بالكلور. تختلف المواد الغذائية فى محتواها من الكروم. وبعض الأطعمة البحرية تحتوى على مستويات مرتفعة تبلغ من ٠,٠٢ – ٠,٢ مليجرام / لتر. ويوجد الكروم فى الخمور وفى المواد الغذائية فى شكلية الثلاثى والسداسى التكافؤ أو نتيجة التلوث من الآنية المطلية بالكروم او المصنعة من الصلب الذى لايصدأ. يصل المدخول الغذائى من الكروم ما بين ١٠٠ – ٣٠٠ مليجرام / فى اليوم. تبلغ مستويات الكروم فى الهواء فى المتوسط فى المدن ٠,٠٢ ملجرام / م^{٣}. ومعظم الكروم الموجود فى الهواء يأخذ شكل جسيمات دقيقة، ويترسب نصف ما يستنشق منها فى الجهاز التنفسى، وتبلغ الكمية المترسبة فى الرئتين ٠,٢ مليجرام / يوميا. تحتوى السجائر على آثار من الكروم تبلغ حوالى واحد مليجرام للسيجارة الواحدة. وقدر المدخول اليومى من الكروم على اساس امتصاص ١٠% من الكروم عن طريق الطعام و الماء، ٥٠ % من الكروم العالق فى الهواء الجوى الذى يمتص ويحتجز. (متوسط الكروم فى الهواء الجوى ٠,٠٢ مليجرام / م^{٣}). يمتص الكروم من خلال الجهازين الهضمى والتنفسى وتختلف الكمية الممتصة فى كل من الجهازين وطبقا لشكل الكروم. والكروم ثلاثى التكافؤ ضرورى للإنسان للوقاية من بعض الأمراض مثل مرض السكر وهو عديم السميه. الكروم سداسى التكافؤ سام. يبلغ معدل امتصاص الكروم سداسى التكافؤ ٩ أمثال امتصاص الكروم ثلاثى التكافؤ المنقولين بالماء. والكروم سداسى التكافؤ المنقول والمذاب فى الماء هو من مسببات اضرار الكروم فعند ١٠ جزء فى المليون من وزن الانسان يحدث نخر فى الكبد والتهاب الكلى والوفاه أما الجرعات الأقل فإنها تسبب تهيج الغشاء المخاطى للمعدة والأمعاء. توجد دلائل لكون الكروم سداسى

التكافؤ يسبب السرطان الرئوى وسرطان البروتستاتا وحـــدوث التـــهابات جلديـــة وقرحات فى الغشاء المخاطى. اكبر مخازن للكروم فى جسم الانسان هـــى الجلـد والعضلات والدهون. ومستوياته فى الأنسجة دالة للجنس والسن والموقع الجغرافى. وهناك الية فى الجسم تمنع تراكم مقادير زائدة من الكروم ثلاثى التكـــافؤ. ويفـرغ الكروم ببطئ فى البول وكذلك فى البراز والمستوى المقرر للكروم الكلى الا يزيـــد عن ٠,١ مليجرام / لتر من مياه الشرب ولذلك فان المعايير التى اصدرتـــها وزارة الصحة لمحتوى مياه الشرب من الكروم الكلى هو ٠,٠٥ مليجرام / لتر.

٨- النترات والنتيريت: (NO_3،NO_2) ١٠ ، ٠,٠٠٥ مليجرام / لتر

النترات موجودة على نطاق واسع وبكميات كبيرة فى التربة فى معظم الميـــاه والنباتات والخضروات. والنيتريت موجـــود كذلك على نطاق واسع الى حـــد مـــا ولكن عادة بمستويات أقل كثيرا من النترات. كلا من النترات والنتـــيريت يتحـــول احدهما الى الأخر فى الطبيعة. وعادة ماتكون التأثيرات الصحية للنـــترات نتيجـــة لسهولة تحولها الى النتيريت فى الجسم. والنترات ناتجة اكسدة النيتروجين العضوى ببكتريا التربة والماء حيثما وجد قدر كاف من الأكسجين، وتسمى البكتريا التى تقوم بهذا الدور بالبكتريا المؤكسدة للنتيروجين العضوى.

واحد الاستعمالات الاساسية للنترات يكون فى شـــكل الســـماد النتـــيروجينى، وكذلك فان معظم الاسمدة الأخرى المحتوية على نيتروجين تتحول الى نترات فـــى التربة. وتستعمل النترات فى صناعة الاسمدة وكعوامل مؤكسدة فـــى الصناعـــات الكيميائية وصناعة المفرقعات والاستعمال الرئيسى لأملاح النترات من الصويـــوم والبوتاسيوم هو لحفظ الاطعمة. وتنتج النترات والنيتريت فى التربة نتيجـــة لتحلـــل البكتريا للمواد العضوية سواء كانت نباتية أو حيوانية. ونظـــرا للانتشـــار الواســـع للنترات والنيتريت فى البيئة فإنها توجـــد فى معظم الاطعمة وفى الجو وفى كثـــير من مصادر المياه. ويرجع وجود النترات والنيتريت فى الماء إلى إستعمال الأســـمدة والمواد النباتية والحيوانية والصرف الصحى والزراعى فى الماء أو فـــى التربـــة، وهذه تحدث تلوث للمياه السطحية والجوفية. مستويات النترات فى الميـــاه الملوثـــة

أعلا كيثرا من مستويات الينتريت. مستوى الينتريت فى المياه المكلورة أقـــل مـــن وجوده فى المياه الخام حيث يكون حوالى ٠,٠٠٥ مليجرام / لـــتر. توجـــد معظـــم المستويات العالية للنترات فى المياه الجوفية. وفى المياه الســـطحية فـــإن النـــترات تستنفذ بواسطة النباتات المائية. وتركيز النترات لا يتغير بشكل واضح فى شـــبكة التوزيع حيث المستوى فى الماء الخام هو فى شبكة التوزيع. كما يوجد فى الطعـــام كميات من النترات وكميات من النيتريت أقل منها فى أطعمـــة معينـــة. ومدخـــول الانسان الرئيس من النترات والنيتريت هو الطعام. وقد يصل تركيز النـــترات فـــى محاصيل مثل الكرنب والكرفس والخـــس والبطـــاطس والســـبانخ والعديـــد مـــن الخضروات الجذرية الى ١٠٠ جزء فى المليون. وهذه تحتوى على مستويات عالية من النترات لكنها لا تحتوى إلا على قدر صغير من النيتريت. ومصد اخر لتنـــاول النترات والنيتريت وهو اللعاب . فالانسان يفرز حوالى ١٠ مليجـــرام نيـــتروجين نترات فى اليوم ويختزل منها الى النيتريت حوالى ٢ ملجرام فى اليوم. والنـــترات مشتقة أساسا من الطعام وخاصة الخضروات. بالنسبة لمختلف الأفـــراد، يمكـــن أن يكون هناك مدى واسع من التعرض المحتمل للنترات والنتيريت فى الماء والطعـــام والهواء من خلال إحتراق الفحم والوقود والغاز ومصادر أخرى. وإن كان يبـــدو أن تلوث الهواء العام يمثل مصدرا غير ذى أهمية نسبيا. كلا من النترات والنيـــتريت سهل الامتصاص جدا فى الجسم حيث نسبة الامتصاص ١٠٠%.

النترات فى مياه الشرب لها آثار سلبية على صحة الانسان وذلـــك لاخـــتزال النترات الى النيتريت بواسطة بعض البكتريا ثم امتصاص النيتريت للاكسجين بمـــا يعيق تكون كرات الدم الحمراء عند الأطفال والرضع، كمـــا أن هنـــاك إحتمـــالات لحدوث سرطان المثانة. وقد أوصت معايير الملوثات فى مياه الشرب على ألا يزيـــد محتوى المياه من نيتروجين النترات ($N-No_3$) عـــن ١٠ مليجـــرام / لـــتر، مـــن نيتروجين النيتريت ($N-No_2$) عـــن ٠,٠٠٥مليجرام/لتر. وألا يزيد مجموع كليـــهما عن ١٠ مليجرام / لتر. وكذلك يلزم عند تحضير الأطعمة للأطفال عدم المبالغة فى تسخين المياه تحاشيا لزيادة البخر وزيادة التركيز فى الماء.

٩- الفلوريدات: ٠,٨ مليجرام / لتر

الفلور عنصر شائع الى حدما ويوجد على شكل الفلوريد فى عدد من الخامات مثل الفلورسبار والكريوليت والفلوراباتيت كما يوجد فى كثير من الصخور. والفلوريدات موجودة فى أسمدة الفوسفات وفى الطوب والخزف والقرميد. وخام الفلور هو الفلورايت و يسمى كذلك الفلورسبار (Flour Spar) وتركيبه الكميائى هو فلورايد الكالسيوم (CaF_2). والخام له بريق حاد وقد يكون شفاف أو شبه شفاف، وهو غير متجانس ويتغير اللون فقد يكون بنفسجى أو أخضر أو أصفر أو قرمزى أو أزرق أو بنى أو أسود أو لا لون له. ويوجد الخام فى شكل كتل بلورية (Crystals) أو فى شكل كتل عادية. وقد يوجد الخام ومعه خام الرصاص والفضة أو الزنك أو مع خامات الكاليسيت ($CaCo_3$) والكوراتز والباريت $BaSO_4$ وقد يوجد بدون اى من هذه الملوثات. والخامات عموماً توجد فى الصخور الرسوبية. والفلوريدات تستخدم فى صناعة الألومنيوم وفى الصناعات المعدنية عموماً لقدرتها على تقليل لزوجة الخبث كما يستخدم فى صناعة السيراميك. توجد آثار من الفلوريد فى كثير من المياه كما توجد التركيزات العالية فى المياه الجوفية. وقد يصل التركيز فى مياه الآبار إلى ١٠ مليجرام / لتر وفى مياه المجارى السطحية إلى حوالى ١ مليجرام / لتر.

ومستويات الفلوريد فى الماء صغيرة تشبة إلى حد كبير نفس المستوى الموجود فى مياه المصدر. وقد تزيد هذه النسبة فى حالة إضافة الفلوريد للماء ليصل تركيز الفلوريد إلى ٠,٦ - ١,٧ مليجرام / لتر لأسباب صحية منها تقوية الأسنان والعظام. ومع تناول لترين من الماء يومياً فإنه يمكن عندئذ تناول ١,٢- ٣,٤ مليجرام فلوريد يومياً من مياه الشرب.

توجد المركبات المحتوية على الفلوريد فى الهواء الناتجة عن العمليات الصناعية وخاصة عمليات صهر الألومنيوم وصناعة الزجاج حيث يصل التركيز إلى عدة مليجرامات / م^3 ويعتبر التعرض التام لأقل من واحد مليجرام / م^3 مقبول. وفى الغذاء فإن جميع المواد الغذائية تقريباً تحتوى على آثار من عنصر الفلور وكذلك جميع النباتات التى تمتصه من التربة والماء. ويمكن أن يحتوى الشاى

والأسماك وبعض الخضروات على مستويات عالية. فقد يصل التركيز فى بعض الأسماك إلى ١٠٠ جزء فى المليون وفى الشاى أكثر من ضعف هذا التركيز مقارنة بالمواد الغذائية الأخرى التى نادراً ما يزيد محتواها عن ١٠ جزء فى المليون. ويزداد مستوى الفلوريد فى المواد الغذائية المحضرة عند إستعمال الماء المغلى حيث قد يصل إلى الضعف فى بعض الصناعات الغذائية. ولا يعتبر التعرض للفلور بالتدخين مصدراً هاماً مقارنة بالمصادر الآخرى. كما يمكن أن يتعرض عامة السكان لمنتجات شتى تحتوى على الفلور مثل معجون الأسنان ومسحوق الأسنان وغسولات الفم ولبان المضغ وبعض الفيتامينات التكميلية والأدوية من الفلوريد الغير عضوى والذى يذوب فى الماء. وعادة ما تضاف هذه المركبات إلى مستحضرات الأسنان بتركيز واحد فى الألف. وقد أظهرت الدراسات أن إمتصاص الفلور يتم بكميات كبيرة عن هذه الطرق، حيث يمكن أن يصل إلى ٥٠ مليجرام فلور لكل غسلة بفرشاة الأسنان. كما توجد الأقراص التى تحتوى على فلوريد الصوديوم المضاد للتسوس والإستعمال المنتظم لهذه الأقراص يصل إلى حوالى مليجرام واحد من الفلوريد فى اليوم.

الفلوريد المتناول مع الماء يكاد يكون إمتصاصه كاملاً أما الفلورايد الغذائى فإن إمتصاصه ليس كاملاً. وفى حالة أغذية معينة مثل الأسماك واللحوم لا يمتص سوى ٢٥ % من الفلوريد. الفلوريد الممتص يتوزع بسرعة فى أنحاء الجسم ويحتجز أساساً فى الهيكل العظمى ونسبة صغيرة فى عظام الأسنان. تتراكم كمية الفلور فى العظام حتى سن ٥٥ سنة. ويقل معدل إحتجاز الفلوريد مع التقدم فى السن ويكون متاحاً للإفراز الكلوى.

كثير من اعراض التسمم بالفلوريد نتيجة إرتباطه بالكالسيوم. وفى الجرعات العالية يكون شديد السميه وتشمل الأعراض المرضية الإلتهاب المعدى المعوى والنزيف والتهاب الكلى الحاد وشتى درجات إصابة الكبد وعضلة القلب. وتبلغ الجرعة المميتة الحادة خمسة جرامات على شكل فلوريد الصوديوم بما يعادل ٢ جرام فلور. وقد تظهر علامات التسمم الأولى مثل القيئ وآلام البطن والغثيان والإسهال. وقد تبين أن المغولية (Mongolism) والسرطان يقترنان بالمستويات

المرتفعة من الفلوريد فى الماء. وتظهر الحساسية من الفلور لـــدى الملايـــن مـــن شاربى الشاى أحياناً وخاصة الكميات الكبيرة من نقيع الشاى (المغلى).

وقد نص فى معايير مياه الشرب آلا تزيد نسبة الفلوريدات عن ٠,٨ مليجرام / لتر. وفى مدارس الأطفال حيث بدء ظهور ونمو الأسنان تكون مياه الشـــرب لـــهم محتويه على ١,٥ مليجرام/لتر من الفلوريد.

١٠- المواد الغير عضوية ذات التأثير على الصحة العامة والتى لم ينص عليها فى معايير مياه الشرب والإستخدام المنزلى، والتى نص عليها فى دلائل مياه الشرب التى أعدتها منظمة الصحة العالمية. وهذه تشمل الفضة، النيكل، البريليوم والأسبستوس.

أ- الفضة: ٠,٠٩ مليجرام / لتر

توجد الفضة فى جميع أنحاء العالم ومن خاماتها كلوريـــد الفضـــة وكبريتـــات الفضة وتوجـــد كذلك فى خامات النحاس والرصاص والزنك. ويعـــاد إســـتخلاص كمية كبيرة من الفضة من أفلام التصوير ومحاليل الطبع والتحميض ومن التحـــف الفنية والصناعات الفضية وصناعات أخرى. وتوجد الفضة فى القشـــرة الأرضيـــة بتركيز يبلغ ٠,١ جزء فى المليون. وتستعمل الفضة فى سبائك كثيرة وفـــى مـــواد اللحام وفى التصوير الضوئى والمعدات الكهربية والطلاء الكهربى بالفضـــة. كمـــا تستخدم الفضة فى حشو الأسنان من سبيكة مكونة من ٧٠% فضة، ٢٦% قصدير، ٣% نحاس، ١% زنك، كما تستخدم مع الزئبق لتكوين مملغم (Amalgam)، كمـــا تستخدم بودرة السبيكة (حالياً ترزيز – Atomized) بنسبة ٥%من الســـبيكة، ٥-٨ جزء من الزئبق.

نسبة الفضة فى الماء الخام او المعالج ترجع إلى مصـــادر طبيعيـــة أو مـــن الملوثات فى مياه الصرف الصناعى، كما أن تآكل بعض المعادن والســـبائك فـــى شبكات المياه التى تحتوى على آثار من الفضة يزيد من الفضة فـــى الميـــاه بعـــد المعالجة. ومحتوى المواد الغذائية من الفضة تافه جداً والإستثناء الوحيد هو "عيـــش

الغراب" الذى قد يحتوى على أكثر من مائة جزء فى المليون. وشتى الأغذية توفـر من ١ – ٨٠ مليجرام من الفضة فى اليوم، وكذلك الخضروات التـى تعـد بمـاء يحتوى علـى الفضة فإنها تمتص الفضة بشكل كبير. والقيـم التقديريـة لمدخـول الفضة من الأطعمة عموماً يتراوح ما بين ٢٠–٨٠ مليجرام فى اليـوم. مسـتويات الفضة فى الهواء منخفضة ولا تزيد عن ٠,٠٥ مليجرام / م^{٣} والتعرض فـى هـذه الحالة ليس له تأثير.

لا يوجد دليل على أن الفضة ضرورية لكيان الانسان. وقد سجلت حالات تسمم مميت مع الجرعات المرتفعة. يكمن التأثير الرئيسى للفضة فى إزالة لـون الجلـد والشعر والأظافر (ظاهرة التفضض) ويحدث نفس الشئ للعمال المعرضين مـهنياً للفضة. وليس للفضة علاقة بالسرطان. الكبد والطحال يركزان الفضة كمـا تؤثـر الفضة على ترسيب البروتينات وتعطل بعض النظم الفسيولوجية. معظـم الفضـة الممتصة تفرغ مع البراز ولا يحتبس فى الأنسجة إلا كميات صغيرة جداً بإسـتثناء الجلد. منظمة الصحة العالمية حذفت الفضة كملوث لمياه الشـرب وذلـك لنـدرة وجودها. ولكن وكالة البيئة الأمريكية أوصت بقيمة دليلة للفضة فى مياه الشـرب لا تزيد عن ٠,٠٩ مليجرام / لتر.

ب– النيكل :

خام النيكل الشائع هو البنتلانديت وهو أصفر برونزى اللون ويحتـوى علـى ٣٤% نيكل، ويوجد هذا الخام فى مناجم الكبريت والتى تحتوى على كميات كبـيرة من الحديد والنحاس مع النيكل. وتوجد انواع أخرى من خام النيكـل متحـدة مـع الكبريت أو الزرنيخ أو السيلكا وهذه تكون قريبة من القشرة الأرضية ولكن بنسـب قليلة من خام النيكل مقارنة بخام النيكل فى مناجم الكبريت. ويستخدم النيكـل فـى كثير من سبائك الصلب وفى سبائك النحاس وخاصة البرونز – ويستخدم النيكل فـى الطلاء المعدنى وفى التفاعلات الكيميائية لتنشيطها كعامل وسيط (Catalyst) وفـى بعض مبيدات الفطريات. وعند استخدام النيكل فـى الطـلاء للأوانـى المنزليـة المستخدمة فى تجهيز الأطعمة قد يسبب بعض التلوث لهذه الأطعمة.

كثيراً من أملاح النيكل تذوب فى الماء ولذلك فإن صرف المخلفات الصناعية السائله الغير معالجة يمكن أن يسبب التلوث لمجارى المياه السطحية والمياه الجوفية. المعالجة التقليدية بالمرشحات تزيل بعضاً من النيكل وهذا يجعل النيكل فى المياه المعالجة أقل منه فى المياه الخام. ويعتبر تركيز النيكل فى مياه الصنبور ٢-٥ مليجرام / لتر مقبولاً إلا أنه يمكن زيادته بسبب الطلاء بالنيكل لبعض مهمات السباكة المنزلية. يوجد النيكل فى معظم المواد الغذائية فقد يصل فى النبيذ إلى ٥٠ مليجرام / لتر. ويبلغ تركيز النيكل فى هواء المدن الصناعية فى الحالة النموذجية إلى حوالى من ١٠-٢٠٠ مليجرام / م^{٣} - وتركيزه فى المياه قد يصل إلى ٠,٢ مليجرام / لتر.

والسجائر تحتوى على ٣ مليجرام من النيكل فى السيجارة على هيئة مركب نيكل متطاير يسمى كربونيل النيكل. ويمكن إستنشاق ١٠ - ٢٠% من محتوى النيكل فى السيجارة. النيكل المستنشق يمتص بنسبة ٥٠% والمبتلع يمتص بنسبة ١% أو قد يزيد قليلاً. ويكاد يكون النيكل ضرورى لتغذية الحيوان ومن المرجح أن يكون كذلك بالنسبة للإنسان. لا يوجد دليل على تراكم النيكل فى الأنسجة فهو يفرغ فى البراز أساساً مع كميات أصغر فى البول كما يمكن أن تفرغ كميات كبيرة فى العرق.

النيكل عنصر غير سام وأكثر الأمراض شيوعاً مع التعرض الصناعى هو إلتهاب الجلد والدوار وضيق التنفس ومشكلات فى الدم والكلى. وقد إعتبر النيكل من العناصر المسرطنة بسبب الإستنشاق ولم تحدد نسب أو معايير للنيكل فى مياه الشرب.

جـ- البريليوم

هو العنصر الوحيد خفيف الوزن والذى يذوب عند درجة حرارة مرتفعة حوالى ١٢٧٧° م، ومعدن البريليوم رمادى ويكتسب لمعان قوى لعدة سنوات مع التلميع. البريليوم لا يتأثر بالمياه العادية ولكنه يتآكل بالمياه المحتوية على ٠,٥ جزء فى المليون من الهالوجينات ومنها الكلور الذى يستخدم فى تطهير مياه الشرب.

يوجد البريليوم عادة فى تراكيب خام الفيلد سبار المعدنية (Feldspar). والمصدر الرئيسى للتلوث بالبريليوم فى البيئة هو حرق الفحم وهذا التلوث عادة يكون طفيفاً. وبسبب خفة الوزن للبريليوم وارتفاع مقاومته للشد أصبح له قيمة كمكون فى سبائك خاصة تستخدم فى صناعة مركبات الفضاء ونوافذ الأشعة السينية وبعض مكونات فى الأجهزة الكهربية والمفاعلات النووية. ويدخل البريليوم إلى المجارى المائية عن طريق عوامل طبيعية لتفتت الصخور والغبار الجوى والنفايات الصناعية. ومستوياته فى المياه العذبة بالغة الإنخفاض حيث تصل إلى أقل من ٠,١ مليجرام / لتر، ٠,٢ مليجرام / لتر فى الدول الصناعية . ومحتوى الطعام من البريليوم بين ٠,١- ٠,١٢جزء فى المليون. ومستوى البريليوم فى هواء المدن الصناعية بالغ الأنخفاض ويبلغ ٠,٣ الى ٣ نانو جرام /م^{3}. مركبات البريليوم لا يمتص منها سوى ١% فى المعدة أما المركبات المستنشقة فتمتص فى الرئتين وتجد طريقها إلى الدم والمركبات الغير مذابة تحتجز فى الرئتين. البريليوم الممتص إما أن يفرغ فى البول أو يرسب فى الكلى والعظام. وإستنشاق البريليوم مضر للإنسان حيث يحدث إلتهابات فى الأنف والبلعوم والرئة والقصبة الهوائية. ونظراً لعدم إمتصاصه فى المعده والأمعاء فإن سميته منخفضة إلا أن دراسات أجريت تفيد بان إستنشاق البريليوم يحتمل أن يكون من مسببات السرطان للانسان والحدود العيارية الوحيدة للبريليوم فى الماء وهى تلك التى أصدرها الإتحاد السوفيتى، حيث حدد أقصى تركيز مسموح به فى مياه الشرب ٠,٢ مليجرام / لتر.

د- الأسبستوس

الأسبستوس مصطلح عام يطلق على خامات السيليكا الليفية. وهذه الخامات تتكون من حوالى ستة عناصر منها السيليكون، ومن خام الأسبستوس أنواع الكريزويتل، الأموزيت والأكتينوليت. وخام الأسبستوس يحتوى على ٥٠-٦٠% سيليكا إلى جانب أكاسيد المغنيسيوم والكالسيوم وغيرها من العناصر. يوجد منجم لخام الأسبستوس فى الصحراء الشرقية فى مصر ولكن هذا الخام لا يصلح للعمليات الصناعية مثل صناعة المواسير من المونة الأسمنتية والأسبستوس والتى تستخدم فى نقل المياه. يدخل الأسبستوس فى المياه الطبيعية نتيجة إزابة المعادن

والصخور المحتوية على خام الأسبستوس وكذلك من ميـــاه الصـــرف الصنـــاعى للصناعات المستخدمة للأسبستوس.

المعالجة التقليدية بالمرشحات تزيل كثيراً من ألياف الأسبستوس إلاأنه قد يصل إلى صنبور المستهلك عند إستخدام مواسير الأسبستوس فى نقل الميـــاه. يســتخدم الأسبستوس فى صناعة الصابون الحجرى (Soap Stone) والبيروفيليت المســـتخدم كمادة حاملة لرزاز مبيدات الهوام. كما تستخدم ألياف الأسبستوس كوسط ترشــيحى فى الصناعات الكيميائية وقد تناقص استخدامه كوسط ترشيحى فى صناعة البـــيرة. وتوجد تركيزات للأسبستوس فى الهواء حوالى ٠,٠٠٠٠٦ مليجـــرام / م^{٣} ويتوقــف التعرض طبقاً للقرب من المناطق الصناعية المستخدمة للخام أو من مناجم الخـــام. مدخول الأسبستوس من الهواء أكبر منه من الماء. ألياف الأسبستوس تبتلـــع مـــع الطعام و المشروبات، لم يتأكد أختراق ألياف الأسبستوس لجدار المعدة و الأمعـــاء فى الظروف الطبيعية، إلا أنه وجد أن هذه الألياف قادرة على اختراق جدار المعـدة والأمعاء والوصول الى الدم والأنسجة خلال بعـــض التجـــارب علـــى حيوانـــات التجارب وذلك بعد تناول جرعات عالية تحتوى على ٥% من الطعام لمدة سنتين.

والأسبستوس يمكن أن يرسب فى المسالك الهوائية للجهاز التنفسى بـــالثقل أو بالعرض ويتحدد الترسيب بالثقل بقطر الليفة وبالعرض بطول الليفـــة. والمقـــادير الصغيرة من ألياف الأسبستوس تزال بواسطة الأهداب المخاطية. وفي عدة دراسات وجد عدد قليل من ألياف الأسبستوس فى رئة المرضى العاديين. والفرضية القائلـــة بأن ألياف الأسبستوس المتناوله تسبب السرطان لا يمكن إستبعادها كما ينتـــج عـــن التعرض المهني للأسبستوس المنقول بالهواء تليف رئوى وسرطان بالقصبة الهوائية وبالجهاز الهضمى وسرطان المبيض والحنجرة.

وتدل الشواهد بشده على وجود علاقة بين التدخين والأسبستوس فـــي حـــدوث سرطان الحنجرة والقصبة الهوائية. كما أبلغ أن سرطان المعده والأمعاء يمثل ثلـــث الأورام الخبيثة لدى العمال في مناجم وطواحين الأسبستوس. ولم تعلن معايير قـــدر الأسبستوس الملوث لمياه الشرب فى إصدارات منظمة الصحـــة العالميـــة أو فـــى معايير مياه الشرب فى مصر.

جدول (٣) القيم الدليله والمعايير لمواد الغير عضوية ذات التأثير على الصحة العامة

المادة	دلائل منظمة الصحة العالمية	معايير وزارة الصحة	المادة	دلائل منظمة الصحة العالمية	معايير وزارة الصحة
الرصاص	٠,٠٥ مليجرام/ لتر	٠,٠٥ مليجرام / لتر	النترات	١٠مليجرام/لتر	١٠ مليجرام /لتر
الزرنيخ	٠,٠٥ مليجرام/ لتر	٠,٠٥ مليجرام / لتر	النيتريت	٠,٠٠٥ مليجرام / لتر	٠,٠٠٥ مليجرام/لتر
السبايند	٠,١ مليجرام/ لتر	٠,٠٥ مليجرام/ لتر	الفلوريدات	١,٥ مليجرام/لتر	٠,٨ م مليجرام/لتر
الكادميوم	٠,٠٠٥ مليجرام/ لتر	٠,٠٠٥ مليجرام/ لتر	بريليوم	٠,٠٠٥ مليجرام/لتر	٠,٠٠٥مليجرام /لتر
السيلينيوم	٠,٠١ مليجرام/ لتر	٠,٠١ مليجرام/ لتر	فضه	–	–
الزئبق	٠,٠٠١ مليجرام/ لتر	٠,٠٠١ مليجرام/ لتر	الباريوم	–	–
الكروم	٠,٠٥ مليجرام/ لتر	٠,٠٥ مليجرام /لتر	الأسبستوس	–	–

القسم الرابع

المواد العضوية ذات التأثير على الصحة العامة

١- مبيدات الهوام: (Pesticides)

مبيــدات الهوام تشمل الهــيدرو كربونـــات المكلــورة ومبيــدات الحشـــائش (Herbicides) ومبيدات حشرات التربة (Insecticides) وقد تتراكم مبيدات الـــهوام فى الغذاء بتركيزات مختلفة فالمبيد د. د. ت يتراكم بيولوجياً فى الأسماك بتركيزات تزيد على عشرة آلاف ضعف الموجودة فى الماء. والعديد من مبيدات الهوام بمـــا فى ذلك المبيدات المستخدمة فى الزراعة ومكافحة الامراض لها خاصيـــة التواجـــد الحر (Risidue) وقد اوصى بقيم دليلة لهذه المبيدات نظرا لما هو معـــروف عـــن وجودها كمتبقى عرضى فى الماء. مبيدات الهوام من الـــهيدروكربونات المكلـــورة اعتمد لها مدخول يومى مقبول قدره ١% كأساس لتفادى الاثار المرضية المسرطنة فى مياه الشرب وهذه تشمل:

أ- الـ د.د.ت

ألـــ د.د.ت مركب عضوى من الهيدرو كربونات المكلورة ولا يذوب فى الماء ولكن يذوب فى المذيبات العضوية وقد استعمل فى المواقع العسكرية للحماية مـــن الملاريا والتيفوس والبعوض اثناء الحرب العالمية الثانية ثم استخدم فى الزراعة بعد ذلك ثم توقف استخدامه بسبب مقاومة الهوام له. د.د.ت مبيد حشـــرى ثـــابت فـــى

مختلف الظروف البيئية ويقاوم التحلل الكامل وقد أمكن استخلاص اثار مـن د.د.ت فى الغبار لمسافة ١٠٠٠ كيلو متـر. يمكن ان يزداد التركيز فى المنـاطق التـى تكافح البعوض ببرنامج الضباب (Fogging Programme) ويوجد د.د.ت فى مـاء المطر فى المناطق الزراعية وغير الزراعية كما يتوقف تركيزه فى المياه السطحية على تركيزه فى مياه الامطار وفى التربة وعلى طبيعة التربة. الطعام هو المصـدر الرئيسى ل د.د.ت فى جسم الانسان حيث اكثر من ٩٠ % من المخزون فى جسـم الانسان من د.د.ت مستمد من الطعام ويمتـص د.د.ت عـن طريـق الاستنشـاق والابتلاع يبلغ تركيزه فى الدم لدى عامة السكان ما بين ٠,٠١ الى ٠,٠٧ ملجـرام /لتر. التاثير الرئيسى ل د.د.ت هو على الجهاز العصبى كما ان الكبد هو العضـو الوحيد الذى يتاثر بألـ د.د.ت وقد قدرت القيمة الدليلة التى اعدتها منظمة الصحـة العالمية بمدخول يومى مقبول مقداره من صفر الى ٠,٠٠٥ ملجرام / كيلو جـرام من وزن الانسان ونصت معايير وزارة الصحة على ٢ ملجرام / لـتر فـى ميـاه الشرب.

ب- الالدرين والدايلدرين: (Dieldrin– Aldrin)

وهذه المبيدات استخدمت لمعالجة التربة ضد شتى حشرات التربـة ولمعالجـة البذورواكبر استعمال لها الأن هو مقاومة النمل الابيض والالدرين يتحول بسـهولة الى ديلدرين فى النباتات والحيوانات ونادرا ما يوجد كما هو فى التربـة والطعـام والماء وقد يوجد بتركيز منخفض جدا فى الهواء بينما يصـل تركـيزه فـى ميـاه الامطار الى ٥ ملجرام / لتر. ويختزن الدايلدرين فى الانسجة الدهنية والعضـلات والراس للثدييات والطيور والاسماك حيث قد يصل الى عدة مليجرامات فى الكيلـو من الاسماك والموقع الرئيسى لفعل الدالدرين هو الجهاز العصبى المركـزى بمـا يسبب الوفاة فى حالة التسمم الحاد بالاضافة الى ما يحدثه مـن اورام فـى الكبـد. والالدرين والدالدرين ليس لهم علاقة باسباب السرطان والمدخول اليومى المقدر من كل من الالدرين والدالدرين هو ٠,٠٠١ ملجرام / لتر فى مياه الشرب.

جـ- الكلوردين : Chlordine

والكلوردين مبيد حشرى من الهيدروكربونات المكلورة متعددة الحلقات وقد استعمل على نطاق واسع خلال السنوات الماضية لمكافحة النمل الابيض وكذلك كمبيد حشرى للمنازل والحدائق وحشرات التربة عند انتاج بعض المحاصيل مثل الذرة وقد انخفض استعماله قريبا فى الخارج. والكلوردين يذوب فى الماء بنسبة ٩ مليجرام /لتر لم يثبت تلوث الهواء بالكلوردين. يمكن ان يمتص الكلوردين من خلال الجلد فينتج تأثيرات سامة وخاصة بالنسبة للعاملين فى صناعتة او المستخدمين له. يعتبر الهواء وماء الشرب مصدرين قليلى الاهمية بالنسبة للكوردين. وهذا المركب يسبب بياض شديد للدم، وهو مسبب للسرطان فى حيوانات التجارب وقد قدر مدخول يومى مقبول لشخص يزن ٧٠ كيلو جرام ٠,٠٧ ملجرام والقيمة الدليلة للكلوردين هى ٠,٣ ملجرام / لتر ونصت معايير وزارة الصحة على نسبة ٠,٢ ملجرام / لتر فى مياه الشرب.

د- سداسى كلورو بنزين : (Hexa Chlorobenzene)

سداسى كلورو البنزين مادة صلبة بيضاء تذوب بمعدل منخفض فى الماء ولكنها تذوب فى المذيبات العضوية ويوجد كرزاز فى هواء المناطق الصناعية او فى مواقع استخدامه كمبيد كما يوجد فى انواع كثيرة من الاطعمة وفى مياه المصارف ومياه الشرب فى بعض الحالات وكذلك فى لحوم الحيوانات المنتجة للألبان. وقد أجريت دراسات أفادت بأنه مسرطن وذلك لانه يحدث اورام فى الكبد وفى بطانة الاوعية الدموية والدرقية. وقد اوصى بقيمة دليلة لسداسى كلوروبنزين لا تزيد عن ٠,٠١ ملجرام / لتر فى مياه الشرب وقد أصدرت وزارة الصحة المعايير بنفس القيمة.

هـ- اللندين : Lindane

اللندين مادة صلبة بيضاء (Hexachlorocyclohexane) تتصهر عند درجة حرارة ١١٢°م ويذوب الى حد ما فى الماء بمعدل ١٠ ملجرام / لتر ولكنه اكثر

اذابة فى المذيبات العضوية. اللندين مبيد حشرى ويستعمل على نطاق واسع لمقاومة الطفيليات الخارجية للانسان والحيوان والمبانى والملابس والنباتات والبـذور كمـا يستخدم اللندين فى صناعة الشامبوهات ومقاومة حشرات الرأس وهو يتحلل ببطىء فى المجال اللاهوائى للتربة وقد يستخدم فى المياه من أجل مكافحة النـاموس بمـا يحدث تلوث للمياه وقد يتطاير ويرسب مع مياه الامطار. واللنديـن يمتـص بعـد التعرض الفمى عن طريق الجهاز الهضمى أو التعرض الجلدى ويعتبر الكبد والكلى هما الهدف الاول لتاثير اللندين السام بالاضافة الى تاثيرات جانبية سـامة اخـرى كالغثيان والقئ والتشنجات وضعف التنفس عند استخدامه لعلاج الجرب فى الانسان بجرعات تحتوى على ١٠ جرام فى الكيلو لمستحضرات علاج الجرب. وقد قـدرت القيمة الدليلة ٣ ميكرو جرام / لتر من مياه الشرب واوصت معايير وزارة الصحـة بقيمة٢ ميكرو جرام / لتر.

و-الألاكلور : Alachlor

يستخدم كمبيد للحشائش فى زراعات القمح وفول الصويا وهـو مـادة قليلـة الذوبان فى الماء ويمكن حدوث تلوث لمياه المجارى السطحية وكذلك مياه الخزانات الجوفية نتيجة استعمالاته. الألاكلور تم تقييمه كمـادة يحتمـل ان يكـون مسـببا للسرطان بالاضافة الى ما يسببه من أمراض العيون والجهاز التنفسى والـهضمى وقد اوصى بقيمة دليلة ٠,٠٠٢ ملجرام / لتر وأوصت وزارة الصحة نفس القيمـة فى مياه الشرب.

ز- الديكارب : (Aldicarb)

وهو مبيد حشرى للهوام ويشمل مجموعة من الكيماويـات منـها (Aldicarb Sulfonate) وهو يستخدم أساسا فى زراعات القطن لمقاومة دودة وآفـات يرقـات القطن. الديكارب شديد الذوبان فى الماء ويمكن ان يحدث تلوث للميـاه السـطحية والجوفية من هذه المادة ويعتبر الديكارب اكثر المواد سمية عـن بـاقى المبيـدات والتعرض الرئيسى له خلال الاستنشاق لعمال الزراعة. وقد اقترحت وكالة البيئـة

الامريكية قيم دليلة لمركبات الديكارب ٠,٠٦ ملجرام/لتر وأوصت وزارة الصحة بألا يزيد عن ٠,٠٠٢ ملجرام / لتر من مياة الشرب.

ح - أترازين : Atrazine

يستخدم الاترازين كمبيد للحشائش فى زراعات القمح وفول الصويا وهو مركب قليل الذوبان فى الماء وقد وجدت اثار منه فى مجارى المياه السطحية وفى المياه الجوفية وقد تم تقييم الاترازين كمسبب محتمل للسرطان وقد وضعت منظمة الصحة العالمية قيمة دليلة للاترازين ٠,٠٠٣ ملجرام / لتر وأوصت وزارة الصحة بما لا يزيد عن ٠,٠٠٢ ملجرام فى مياه الشرب.

ط - الميثوكسى كلور : Methoxychlor

الميثوكسى كلور مرتبط كميائيا بمركب د.د.ت ويستخدم كمبيد حشرى وان اصبح استخدامه شبه معدوم. وهذا المركب قليل الذوبان فى الماء ولكن يوجد فى مياه المصارف واستخدامه الأساسى كمبيد لحشرات المنازل والحدائق وعند التعرض للميثوكسى كلور يصاب الانسان باضطرابات فى بعض الاجهزة الفسيولوجية وقد اوصت منظمة الصحة العالمية بقيمة دليلة مقدارها ٠,٣ ملجرام / لتر كما اوصت معايير وزارة الصحة بقيمة لاتزيد عن ٠,٢ ملجرام / لتر فى مياه الشرب.

ى - هبتا كلورو ايبوكسيد الهبتا كلور

وهذه المادة بيضاء وصلبة لها رائحة تشبه الكافور. وهى قليلة الذوبان فى الماء بيضاء إلا أنها تذوب فى كثيرمن المذيبات العضوية الغير ايوينه. وهذا المركب مبيد حشرى من الهيدروكربونات المكلورة المسماه بمبيدات حشرات السيكلودين. واستخدم لمكافحة حشرات التربة الزراعية ومكافحة النمل الابيض وللأغراض المنزلية وبعد ان تأكد الأثر السرطانى فى بعض انواع حيوانات

التجارب فقد اوصت لجنة مشتركة من منظمة الأغذيه والزراعة ومنظمة الصحة العالميه بقيمة دليلة لهذا المركب فى مياه الشرب ٠,٠١ مليجرام / لتر.

ك-ثنائي كلوروفينوكسى حمض الخليك

يستعمل هذا المركب الكيميائى (Dichlorophenpxy Acetic Acid) فى المكافحة للنباتات عريضة الأوراق ويستخدم كذلك كمنظم لنمو النباتات. وقد أبلغ عن تأثيرات ضارة نتيجة التعرض الصناعى منها الإجهاد والصداع وآلام الكبد وفقد الشهية. ويمكن إكتشاف المادة بالطعم والرائحة عند مستويات تركيز تبلغ ٠,٠٥ مليجرام / لتر. وقد أعطيت له قيمة دليلة ٠,٣ مليجرام/لتر فى مياه الشرب.

٣-البنزينات المكلورة : (Chlorinated Benzenes) ($C_6H_5CL_X$)

يستعمل أحادى كلوروبنزين كمذيب واسع الانتشار كما يستخدم فى كثير من الصناعات الكيميائية مثل مبيدات الحشرات وصناعة الفينول (C_6H_5OH) أما ثنائى كلوروبنزين فهو مادة وسيطة هامة فى صناعة الصبغات. ويستعمل دايكلوروبيزين كمذيب وكمبيد للهواء. ويستعمل ٤،١ دايكلوروبترين كطارد للعتة ومزيل للرائحة. كذلك يستعمل ٤،٢،١ ترايكلوروبتزين كمذيب وكسائل عازل للكهرباء (Dielectric) وكوسط ناقل للحرارة وكمبيد للحشرات. ومن بين مركبات رباعى كلوروبترين يستعمل ٥،٤،٢،١ تتراكلوروبنزين كمادة وسيطة فى الصناعات الكيميائية ولإنتاج ترايكلوروفينول. ولا يستخدم بنتا كلوروبترين. وبعض الكلوروبنزينات الادنى تتكون كمنتج ثانوى عند كلورة المياه. وأحادى الكلوروبترين مهيج للجهاز التنفسى كما انه مخمد للجهاز العصبي المركزى. ولم تتوفر المعلومات التى تفيد بأنه مسرطن. وقد وضعت القيمة الدليلة لهذا المركب فى مياة الشرب على اساس تأثير الرائحة والمدخول اليومى من مياه الشرب. وقدرت القيمة الدليلة بـ٣مليجرام/لتر.

ويتكون دايكلوروبنزين من ثلاثة مركبات عطرية وهى ٢،١ دايكلوروبترين، ٣،١ دايكلوروبترين هما سائلان عند درجة الغرفة بينما ٤،١ دا يكلوروبنزين مادة صلبة. وجميع هذه المواد متطايرة نسبيا والاستعمال الرئيسى للمركب ٢،١

دايكلوروبيزين كمذيب وكعامل وسيط فى تخليق مواد الصباغة ومبيدات الأعشاب ومزيلات الشحوم وأهم الاستعمالات هو كمبيد للهوام.

استعمال ٤،١ دايكلوروبيزين فهو كمزيل للرائحة والهوام وكمبيد حشرى وكطارد للعتة. وأما باقى انواع الكلوروبيزينات تكون كمنتج ثانوى فى صناعة الموتوكلوروبيزين ($C_6 H_5 CL$). وتصل مركبات الكلوروبيزين عن طريق الجهاز التنفسى والهضمى والجلد حيث تمتص، هذه المركبات تذوب فى الماء وفى الدهون بما يجعل انتشارها عالى فى معظم الأغشية والرئة والمعدة والأمعاء والكبد والكلى وتكون الاصابات السامة عن طريق الاستنشاق اساسا والتعرض المهنى وذلك فى حالة الاسراف فى الأستخدامات المنزلية.

وكثيرا ما تصل هذه المواد الى المياه السطحية والجوفية ومياه الشرب والأطعمة. أجهزة الجسم المستهدفة من هذه المواد هى الكبد والدم والجهاز الشبكى الذى يشمل نخاع العظام ومكوناته المناعية والجهاز العصبى المركزى والمسالك التنفسية والجلد. ولهذه المواد أعراض سمية عامة مثل الضعف وفقد الشهية والغثيان والصرع وأغراض أخرى. ولا توجد أدلة لكون هذه المواد مسرطنة والقيم الدليلة للدايكلوروبيزين ٢،١ هى ٠,٠٣ ملجرام /لتر ٤،١ دا يكلورو بيزين هى ٠,١ مليجرام / لتر من وزن الانسان ونصت معايير وزارة الصحة على ٢ ملجرام / لتر فى مياه الشرب. وذلك مع الأخذ فى الاعتبار حدود الرائحة لهذة المواد.

٣- بيزنيات مكلورة أخرى ذات أسماء تجارية وهى مبيدات للحشائش وللحشرات وهى:

أ- سيمازين : Simanize

سيمازين مبيد للحشائش ويستخدم لإزالة النباتات المائية والطحالب وفى الحقول لبعض الحاصلات الزراعية. وهو مركب غير متطاير وقليل الذوبان فى الماء يوجد فى المياه السطحية وكذلك يتسرب الى المياه الجوفية ولهذا المركب تأثيرات صحية محدودة ومازالت الدراسة حول كونه مسرطن من عدمه على حيوانات

التجارب. ولم تحدد له قيمه دليلة. وقد حددت وزارة الصحة معايير السيمازين. فى مياه الشرب الاتزيد عن ٠,٠٢ ملجرام / لتر.

ب- سيلفكس : Silvex

سيلفكس مبيد للحشائش واستخدم لإزالة النباتات المائية فى المجارى المائية وقد أُلغى استخدامه فى العالم منذ عام ١٩٧٩ وهو مركب قليل الذوبان فى الماء ويسبب اعراض مرضية مثل ضعف العضلات والارهاق كما ان له تأثير على الكبد والكلى وقد وضعت له معايير وزارة الصحة كحدود قصوى ٠,٠٥ ملجرام / لتر فى مياه الشرب.

ج - توكسا فين : Toxa phene

استخدم التوكسافين كمبيد حشرى على نطاق واسع وقد قل استخدامه حاليا لما ثبت من أنه مسرطن لحيوانات التجارب وأعطيت له قيمة دليلة فى مياه الشرب ٠,٠٠٥ ملجرام / لتر ولم يرد ذكره فى معايير وزارة الصحة الخاصة بالملوثات فى مياه الشرب.

٤- كيماويات أخرى

أ- الفينولات المكلورة والبنتاكلوروفينول (Chlorinated Phenols)

يستخدم خماسى كلورو فينول على نطاق واسع كمبيد للفطريات ولحفظ الاخشاب. وهو مادة صلبة تتصهر عند عند١٩٠°م وهو قليل الذوبان فى الماء عند درجة الحرارة العادية. يمتص خماسى كلوروفينول من خلال الجهاز الهضمى ومن الجلد. وتبلغ الجرعة المعوية القاتلة ٢٧ ملجرام / كيلو جرام من وزن الانسان. وأعراض التسمم غزارة العرق والعطش وارتفاع فى الحرارة وسرعة النبض والتنفس. وقد يحدث تليف فى الكبد والكليتين وحسبت له قيمة دليلة ٠,١ ملجرام / لتر فى مياه الشرب. وهذا المركب هواحد مركبات الفينولات المكلورة التى قد

توجد فى مياه الشرب نتيجة تلوث مصادر المياه الخام او نتيجة كلورة المياه المحتوية على مركبات فينولية. يمكن ان توجد الفينولات المكلورة فى المياه الخام نتيجة افراغ الصرف الصناعى الغير معالج من عمليات تقطير الكوك وصناعة البتروكيماويات والعديد من الصناعات المستخدمة لمادة الفينول ($C_6 H_5 OH$) كمادة وسيطة. عند كلورة المياه المحتوى على ملوثات من مادة الفينول تكون نواتج التفاعل الرئيسية ٢ أو ٤ مونوكلوروفينول، ٤ دا يكلورفينول ٢,٤,٦ ترايكلوروفينول وتنتج مادة ٢،٤،٥. تراى كلورفينول كمبيد للفطريات،٢،٤،٦ تراى كلورفينول كمطهر. والاستعمالات الرئيسية ٢،٣،٤،٦ تتراكلوروفينول كمبيد للحشرات لحفظ الاخشاب ويمكن ان تحتوى المياه الخام السطحية والجوفية على الفينولات المكلورة وان كان مؤشر وجود هذه الكيماويات فى الماء هو التغيير فى الطعم والرائحة ولكن يجب عدم الاعتماد عليها كلية. وتوجد الفينولات المكلورة فى الطعام نظرا لاستخدامها كمطهرات فى صناعة الألبان وقد توجد كذلك فى مياه الشرب المكلورة المحتوية على ملوث الفينول ولهذا فقد نصت المعايير التى اصدرتها وزارة الصحة بخصوص صرف المخلفات السائلة على المجارى المائية العزبة الا يزيد تركيز الفينول عن ٠,٠٢ ملجرام / لتر. ويوجد الفينول فى مواد الحماية للمواسير من التأكل مثل مادة الكولتار والكولتار إيبوكى ولهذا يلزم الحذر وعدم استخدام هذه المواد للحماية الداخلية لمواسير نقل المياه حيث فى مثل هذه الحالات يتفاعل الكلور الحر مع الفينول الموجود فى مادة القار مكونا مادة الكلور فينول الضارة وذات الرائحة الغير مقبولة هذا بالأضافة الى تلف طبقة الحماية من الكولتار لفقد مادة الفينول منها. ونظرا لان هذه الملوثات من الفينولات المكلورة بعضها يصل الى المعدة عن طريق الطعام وبعضها عن طريق الاستنشاق ليصل الى الجهاز التنفسى. ولتفادى اثارها السلبية على صحة الانسان بعد ان ثبت على حيوانات التجارب زيادة حدوث معدل الاورام وأبيضاض الدم واصابات فى نسيج نخاع العظام والسرطانات الكبدية واورام الغدد ولهذا كانت التوصية بقيمة دليلة لهذه الملوثات من الفينولات المكلورة لتكون ٠,١ ملجرام / لتر فى مياه الشرب.

ب- الإندرين : Endrine

الأندرين من مجموعة المبيدات مثل الألدرين والكلوردين والهبتاكلور وهو مبيد حشري شائع الاستعمال قليل الذوبان فى الماء. الاندريـــن مثـــل بـــاقى المبيـــدات المكلوره حيث يتراكم فى المواد الغذائية وقد اوقف استعماله فى الولايات المتحـــدة الامريكية منذ عام ١٩٧٦ وقد يوجد فى الماء وله اثار ضارة على الصحة العامـــة ولم تحدد له قيم دليلة لكونه غير مسرطن.

ج- ايبوكلوروهيدرين : Epichloro hydrin

وهو مركب من الالكيلات المكلورة ويستخدم فى صناعة المروبات المخلقة كما يستخدم فى صناعة راتنجات الإيبوكسى بتفاعله فى ظـــروف خاصـــة مـــع مـــادة البنزوفينول كما تستخدم هذه المادة كمذيب للراتنجات والبويات والمواد الصمغيـــة واللاكيهات وهو مركب قليل الذوبان فى الماء وهو يمتص بسرعة ويتراكم فى الكبد والكلى والبنكرياس كما أن التعرض بالنســبة للمستخدميـــن يســـبب حساســـية للعيـــن والحنجرة والصداع وصعوبة التنفس وهذا ينتهى بتلف الكلـــى وقـــد ثبتـــت اثـــاره المسرطنة مع الاستنشاق او الابتلاع وقد تحددت له معايير فى مياه الشرب صفـــر مع اخذ الاجراءات الفنية اللازمة عند استخدامه كمروب فـــى بعـــض الصناعـــات الغذائية.

د- رابع كلوريد الكربون : Carbon Tetrachloride

يستخدم رابع كلوريد الكربون فى حماية البذور وفى اطفاء الحرائق ومذيب فى استخدامات النظافة الجافة. وهو قاتل عند استنشاق ٢سم^{٣} منه. وهذا المركب يحدث امراض للدم والكلى مع احتمال كونه مسرطن للانسان طبقا للنتائج التـــى اجريـــت على حيونات التجارب وذلك مع احتمال تغير فى انزيمات الدم ومرض النقـــرص ويحدث التلوث للمياه الخام نتيجة تلوثها بسوائل الصرف الصناعى ومياه النظافـــة من المغاسل الجافة واوصى بقيمة دليلة من صفـــر إلـــى ٠,٠٠٥ ملجـــرام / لـــتر واوصت معايير وزارة الصحة بقيمة ٠,٠٠٢ ملجرام / لتر فى مياه الشرب.

٥- احماض الخليك المهلجنة

أ- ثنائى كلورو حامض الخليك : Dichloro Acetic Acid

يذوب فى الماء ويستخدم كمادة وسيطة فى بعض الصناعات الدوائيـــة وفـــى بعض الصناعات الكيميائية الاخرى وله اثار ضارة على هيموجلوبين الدم وامراض العيون وضعف الاطراف وألام الرأس ولم يثبت انه مسرطن ويصل الى المــــوارد المائية عن طريق الصرف الصناعى الغير معالج.

ب- ثلاثى كلورحامض الخليك : Trichloro Acetic Acid

يستخدم مبيد للحشائش كما يستخدم فى كثير من الصناعات الدوائية وهو ســـام لحيوانات التجارب ولم توضع له قيمة دليلة.

ج- الأسيتونيترالات المهلجنة : Haloacetonitriles

هذه تشمل كلورو أستيونتيريل، ودايكلوروواسيتوينتريل، ترايكلوروواستيو ينتريل، كلورو برومو أستيو نتيريل، دايبرومو استيوينتريل. وهــذه المركبــات الكيميائيــة تستخدم كمبيدات حشرية وكمبيدات للفطريات ولها تأثير على الرئة والكبد والكلـــى كما تقلل من الكوليسترول فى الدم. ولم تحدد لها قيم دليلة او معايير.

٦- الميثانات المكلورة : (الترايهالوميثان) Trihalomethanes

توجد ميثانات الهالوجينات الأربع (الكلور، الفلور، البروم، اليود) فى مركبــات شائعة هى الكلوروفورم والديكلوروبرومو ميثان والدايبروموكلوروميثان والـــبرومو فورم. يمكن أن يصل مجموع هذه الميثانات المكلوره أو المهلجنة فى مياة الشــرب إلى ١٠٠ ملجرام / لتر. وقد تأكد أن الكلوروفورم يسبب السرطان فـــى حيوانــات التجارب. توجد الميثانات ثلاثية الهالوجين فى الماء نتيجة التفاعل بيـــن الكلـــور أو الوجود العارض لأيونات البروم مع المواد العضوية المذابة فى الماء. ومـــن هـــذه

الهالوجينات الثلاثية التى تتكون نتيجة وجود الكلور فى المـــاء الترايكلوروميثـــان. (Trichloromethane) والذى يزداد تركيزة مع زيــــادة درجـــة الحـــرارة والرقـــم الهيدروجينى. وكذلك مادة الكلوروفورم الذى هو مخمد للجهاز العصبى المركـــزى ويؤثر على وظائف الكبد والكلى. والتأثير الفورى للكلورفورم هو فقد الوعـــى ثـــم الوفاة. وتعتبر الجرعة المميتة ٠,٦٣ جرام/كيلوجرام وزن الإنسان. وتناول مقـــدار صغير ٠,٤ جرام يسبب تهيج معوى وزيادة فى إنقباض الإمعاء وكذلـــك التخديـــر الموضعى فى القناة المعوية. ولا توجـــد سوى معلومات ضئيلـــة عـــن التـــأثيرات السامة للميثانات ثلاثية الهالوجين الأخرى إلا أنه لوحظ الاقتران بين معدل وفيـــات سرطان المثانة ومستوى الميثانات ثلاثية الهالوجين. وقـــد أوصـــى بقيمـــة دليلـــة للميثانات المكلورة ٠,١ ملجرام / لتر وأهمها هو الكلورفورم الذى يوجد فى ميـــاة الصرف الغير معالج لصناعة الايروسولات والمبردات وكمذيب ولمقاومة الحشرات وصناعة المطاط والزيوت والراتنجات.

القسم الخامس

الاشعاعات النووية : Radionuclides

الاشعاعات النووية عبارة عن ذرات مشعة و التى عند انقسامها تنطلق الطاقة (النشاط الاشعاعى) والطاقة المتولدة تكون فى أحد من ثلاث اشكال و هى:

* اشعاعات الفا وهى تتكون من عدد كبير من نواة الهليوم.
* اشعاعات بيتا وهى تتكون من الكترونات اوبروتونات.
* اشعاعات جاما وهى عبارة عن اشعة مغناطيسية مشابهة لاشعة اكس.

وأى من هذه الاشاعات الثلاث له تأثيره على جسم الانسان فأشعة الفا ذات السرعة العالية التى تصل الى ١٠ مليون متر فى الثانية وهى مدمرة عند ابتلاعها واشعة بيتا لها سرعة تماثل سرعة الضوء ونظرا لصغر كتلتها فانها ذات قدرة اختراق اكبر ونسبة تدمير اقل من أشعة الفا وأشعة جاما لها قدرة اختراق عالية ولكن تاثيرها محدود عند المستويات المنخفضة.

والإشعاعات تقاس بوحدات الكورى (ci) والرادز (rads) أو بالرمز رمز (rems) وحدة الكورى تساوى ٣,٧ × $١٠^{١٠}$ تحركات ذرية فى الثانية. جرام واحد من الراديوم له نشاط واحد كورى وبالمقارنة فان واحد جرام من اليورانيوم ٢٣٨ = ٠,٣٦ × $١٠^{-٦}$ كورى والراد هو مقياس للجرعة الممتصة فى الانسجة أو المادة، وراد من جسيمات الفا يسبب تدمير أكثر من راد من جسيمات بيتا. الرم (Rem) هو مقياس لتأيثر الجرعة الاشعاعية فالاشعاعات المتساوية عند تقييمها

بالرم تحدث نفس التأثير البيولجى بصرف النظر عن نوع الاشـــعاعات المؤثــرة. وخروج اشاعات الفا وبيتا من العنصر يؤدى الى عنصر اخر بينما لايحدث ذلـــك عند خروج جاما. والعنصر المشع الذى يتحول ويتآكل يسمى النظير او الايزوتـوب (isotope) او الاب او الاصل (Parent) والعنصر الجديد يسمى بالمولود او النـــاتج (pregny). تتأكل النظائر المختلفة بمعدلات مختلفة. نصف العمر للنظير المشع هـو الزمن اللازم لتأكل نصف عدد الذرات الموجودة ويتراوح ما بين ملاييـن السـنين الى ملايين الثوان. النظائر ذات نصف العمر الاطول لديـــها نشـاط اقـل (مقيـم كوحدات الكورى) والنظائر ذات النصف العمرى القصير جدا ليست هامــة لانــها لاتؤثر على شبكات توزيع المياه ولاتحدث بها اى تحول. النشاط الاشـــعاعى قـد يحدث فى المياه اما طبيعيا او صناعيا بفعل الانسان والإشعاعات الطبيعية ترجــع لوجود عناصر فى التربة أو من الاشعة الكونية (Cosmic) المنتشرة فى الفضـــاء امــا الاشعاعات بفعل الانسان تعودالى ثلاث مصادر وهـى الانشـطار النـووى مـن التجارب النووية، الاشعاعات من المستحضرات الطبية وكذلك امتـلاك واسـتخدام الوقود النووى. وتوجد اكثر من مائة نوع من الاشعات النووية بفعل الانسان فـى المياه ولكن لم يستدل منها إلاعلى الاسترنشيوم والتريتيوم وتشمل سلسـلة التـأكل الطبيعى اشعاعات الفا بينما سلسلة التأكل بفعل الانسان تفتقد الى اشعاعات الفا مـع بعض الاستثناءات البسيطة مثل (الامريكين ٢٤١ البلوتنيوم ٢٣٩) ويستقبل الانسان جرعة بسيطة مقدارها ٢٠٠ مليريم من جميع المصادر.

وقد قدرت وكالة البيئة الامريكية ان مياه الشرب تمثل من ٠,١ الى ٣ % مـن الجرعة السنوية للشخص الواحد. وقد تؤثر الظروف المحلية علـى هـذه النسـبة وتوجد مصادر لمياه الشرب توفر جرعة سنوية مؤثرة تعادل ١٠٠ مليون ريم فـى العام. وطبقا للتأثيرات الصحية والتواجد فى الماء فان المواد المشعة ذات العلاقـة الاكيدة هى راديـوم ٢٢٦، راديوم ٢٢٨، يورانيوم ورادون ٢٢٢. وهـذه كلـها نظائر مشعة موجود فى الطبيعة والراديوم ٢٢٨ باعث لاشعة بيتا والتـى تتـآكل نتيجة سلسلة من السلالات الباعثة لاشعة الفا بينما البـاقى جميعـا بـاعث للالفـا واليورانيوم الطبيعى يحتوى على اليورانيوم ٢٣٤، يورانيوم ٢٣٥ يورانيـوم ٢٣٨ ولكن يمثل يورانيوم ٢٣٨ حوالى ٩٩,٢٧% من النسبة الكلية لليورانيوم الطبيعـى.

النشاط الاشعاعى له تأثير مباشر على جسم الانسان وكذلك تأثير بعيـــد المـــدى او الوراثى والذى يؤثر فى نسل الشخص المعرض. والتـــأثيرات الجســمانية تشــمل السرطنة وترجع الآثار المسرطنة للاشاعات الفا وبيتا وجاما على الخلية الى تحلــل مكونات الخلية وحدوث تغييرات غير عادية. وتعتبر كل المواد المشعة مســرطنة. ورغم هذا فان هدفها يختلف حيث يتعامل الراديوم ٢٢٦ مع العظام والراديوم ٢٢٦ مع الراس اما الراديوم ٢٢٢ فهو غاز يمكن استنشاقه او الوصــول الـــى الامعـــاء وتوجد علاقة بينه وبين سرطان الرئة. واليوانيوم مثل الراديوم يتراكم فى العظـــام وغير مسرطن وان كان هناك اتجاه لاعتبارهما مسببان للسرطان. اليورانيوم ســام ويسبب الفشل الكلوى. المعالجة لمياه الشـــرب فى حالة التعرض الزائد للراديـــوم هى فى عمليات ازالة العسر باستخدام الصودا الجـــير(Soda-Lime process) او بالتبادل الايونى او التناضح العكسي (Rererse-Osmosis) وبالنسبة للرادون الـــذى يوجد فى الطبيعة فى بعض الخزانات الجوفية فـــان التهوية للمياه الجوفيـــة تحقـــق نسبة ازالة عالية والمعالجة التقليدية بالمرشحات باستخدام المروبات تحقـــق ازالـــة مقبولة كذلك بالنسبة للراديوم ولذلك يجب التخلص الامن مـــن الروبـــة (Sludge) الناتجة عن معالجة المياه بالمرشحات وكذلك راتنجات التبادل الايونـــى المســتهلكة بطريقة تتفق مع معايير السلامة البيئية والتى حددتـــها منظمـــة الصحـــة العالميـــة للراديوم ٢١٦ – ٣ × $١٠^{١١}$ كورى والاسترنشيوم ٩ – ١٠ × $١٠^{١٢}$ كورى.

القسم السادس

الملوثات من الكائنات الحية الدقيقة

مقدمة :

إن أكبر الاخطار المصاحبه لمياه الشرب انتشاراً هو التلوث المباشر او الغير المباشر بمياه الصرف الصحى او غيرها من الملوثات التى تحمل غائط الانسان أو الحيوان أو الطيور اى ذوات الدم الحار (Warm Blooded Animals). فاذا كان هذا التلوث حديثا وكان من اسهم فيه حمله الأمراض المعدية السارية فإن شرب المياه الملوثة على هذا النحو أو استعماله فى إعداد أطعمة معينة قد ينجم عنه حالات من العدوى والأوبئة.

والتلوث الغائطى لمياه الشرب يعمل على ادخال كثير من الامراض المعدية - الجرثومية والفيروسية والطفيلية والذى يرتبط وجودها بما هو موجود فى ذلك الوقت فى المجتمع المحلى من الأمراض التى تسببها هذه الكائنات ومصادرها كما هو فى الجدول الموضح. والذى يشمل انواع البكتريا والفيروسات المعوية والبروتوزا والطحالب.

جدول (٤) الكائنات الحية الدقيقة والامراض التى تسببها ومصادرها

انواع الكائنات الحية الدقيقة	الامراض التى تسببها	المصادر الرئيسة لهذه الكائنات
البكتريا		
سالامويتلا	حمى التيفود و البارا تيفود الكوليرا	غائط الانسان الحامل للمرض
الشيجيلا	والدسنتاريا	غائط الانسان الحامل للمرض
انواع اخرى	امراض معوية وتنفسية و رئوية	غائط الانسان والحيوان
الفيروسات أنواع مختلفة من الفيروسات	تسبب امراض شلل الاطفال والالتهاب السحائى وامراض الجهاز الهضمى وامراض الجهاز التنفس والتهاب معوى والتهاب كبدى وبائي	غائط الانسان
البروتوزوا	التهاب المخ والتهاب سحائى والدسنتاريا، الالتهاب المعوى، امراض معوية	غائط الانسان و الحيوان
الطحالب	امراض النزلات المعوية	المياه الطبيعية

وكذلك قد تسبب كائنات حية دقيقة اخرى توجد بشكل طبيعى فى البيئة ولا تعتبر من الممرضات أمراضا عرضيه يغلب انتشارها بين من يعانون من اختلال فى مراكز المخ والأرجح أن يكون ذلك مع المتقدمين جدا فى السن والاطفال الصغار. ومن هذة الامراض امراض الجلد والاغشية المخاطية للعين والانف والاذن والحنجرة.

وتشمل طرق نقل الممرضات من الكائنات الحية الدقيقة. تناول المياه والاطعمة الملوثة ومخالطة المرضى من الانسان او الحيوان. وتختلف أهمية الماء فى انتشار العدوى المعدية اختلافا كبيرا طبقا لنوع المرض والظروف البيئية وعلى الرغم من أن مرض الدسنتاريا والامراض المعويه الاخرى الذى تنقله بكتريا الشجيلا قد ينتقل من شخص إلى أخر فى الظروف المعيشية المزدحمة. الكوليرا

تنتقل عن طريق الماء وحمى التيفود والبارا تيفود تنقلها بكتريا السلامونيلا عن طريق الطعام.

ويوجد مدى واسع من المستويات الصغرى للجرعة المعديه اللازمة لاحداث العدوى عند الانسان فان قدرا ضئيلا من بكتريا السلامونيلا الحاملة يسبب عند تناولة مرض التيفود وكذلك يختلف حجم الجرعة المعديه لدى مختلف الأشخاص تبعاً للسن والحالة الصحية وقت التعرض.

ويجب ان يؤخذفى الاعتبار العوامل الاخرى للإنتقال غير مياه الشرب نظرا لأن استخدام ماء الشرب المأمون فى حد ذاته لا يمنع العدوى بالضرورة دون أن يصاحب ذلك تحسن فى السلوكيات والعادات الشخصية بما يعطى ضرورة هامة بالتعلم البسيط لحفظ الصحة.

١- أنواع الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض

أ - البكتريا

البكتريا كائن حى وحيد الخلية وليس له معالم النواه وهذه الخلية خالية من الكلورفيل وتتكاثر بالإنقسام. والبكتريا تستطيع ان تتشكل فى جميع الصور فمن مجرد الشكل المستدير الى المستطيل وكذلك ذات الاطراف التشعبية وتسبب بعض انواع البكتريا امراض كثيره وخطيره للانسان والبكتريا الخاصة بمياه الشرب هى الشيحيلا والسلامونيلا والفيبرو كوليرا.

ب - الفيروسات

الفيروسات ليست خلايا ولكنها أجسام بروتينيه تحيط بحامض نووى (Nucleic- Acid) ومن خصائص الفيروسات انها تعتمد كليا على الخلايا الحيه فى التكاثر. ويوجد اكثر من ١٠٠٠ نوع من الفيروسات منها مجموعة الفيروسات المعوية التى تصيب الجهاز المعوى للانسان واحيانا الحيوان نتيجة التلوث بافرازات الانسان او الحيوان الحامل للمرض واهم هذه الفيروسات فى مياه الشرب

هو فيروس الالتهاب الكبدى الوبائى. وعملية التعرف على الفيروسات بالتحاليل المعملية المختلفة ليست سهلة. الفيروسات تزال بنسبة كبيرة جدا فى عمليات معالجة المياه بالمرشحات. حيث تزال مع الاجسام العالقة والتى تختبئ فيها الفيروسات. فيروس الالتهاب الكبدى الوبائى اكثر مقاومة لعملية التطهير بالكلور مع زيادة زمن المكث (Contact-time) وزيادة الجرعة وهناك العديد من الفيروسات منها فيروس الانفلونزا، وشلل الأطفال، الإيدز، التهاب الدماغ، امراض جلدية... الخ.

ج – البروتوزوا

هى كائنات حيه وحيدة الخلية وليس للخلية جدار وهى دائمة الحركة وتوجد أنواع كثيره منها وتسبب البروتوزوا أمراض للإنسان. ومن بين البروتوزوا الضارة الجيَاردا لاميلا، الانتاميبا هستولبيكا. والجياردا طفيل وحيد الخلية يتحرك بالاسواط ويعيش فى الامعاء الدقيقة والغليظة للانسان ويبلغ طواله ٩-١٦ ميكرون عرضة ٩-١٢ ميكرون وتحدث الأصابة به نتيجة ابتلاع الطور المعدى وهو الطور المتحوصل (Cyst) عن طريق شرب الماء أو الطعام الملوث. والجياردا تحدث أضطرابات فى القناه الهضمية. أما الأنناميبا هستوليبكا المعروفة بالدوسنتاريا الأميبية فهو ضئيل مجهرى يبلغ قطره ٢٠ – ٤٠ ميكرون ويتكون من خلية واحدة وتحدث الإصابة عند تناول الأنسان ماء أو طعام ملوث ويأخذ الطفيل الذى يعيش أساسا فى الأمعاء الغليظة للإنسان فى مهاجمة الغشاء المخاطى المبطن للأمعاء الغليظة ويفرز خمائر تذيب جدار الأمعاء، ويسبب أمراض للأمعاء والكبد والغشاء البريتونى. وعمليات المعالجة بالمرشحات تزيل كلامن البروتوزوا بانواعها والحويصلات (Cysts) يكفاءة تصل الى ٩٩% وخاصة اذا كانت قياسات العكارة أقل من واحد نيفيلومترى.

د – الديدان

اكتشفت انواع كثيرة من بيض الديدان ويرقاتها فى مياه الشرب وهى تنتقل بطرق أخرى غير مياه الشرب الى جسم الانسان ويمكن ليرقة واحدة ناضجة او بيضه مخصبه أن تحدث العدوى ولذلك يجب أن تكون مياه الشرب خالية منها

جميعاً ويمكن تحقيق ذلك على أفضل وجه بحماية المصدر المائى من التلوث الغائطى وهذه الديدان لايمكن عمل الفحص الروتينى لها. أما إذ وجدت طريقها إلى المياه الخام فإنها تزال بنسبة عالية عند المعالجة بالمرشحات وخاصة عند إستعمال مرشحات الرمل البطيئة فى حين ان جميعها مقاومة نسبيا للكلور لاسيما دودة الاسكارس.

هـ – الكائنات حرة العيش : Freeliving Organisms

وتشمل الكائنات حرة العيش ذات الاهمية بوجه عام فى امدادات المياه العوالق (Plankton)، اللافقريات الكبرى. وتتكون العوالق من كائنات عالقة فى الماء منها العوالق النباتية والعوالق الحيوانية. أما العوالق النباتية فتشمل الجراثيم والفطريات والطحالب حرة العيش ذات الكلوروفيل والتى تنمو بالتمثيل الضوئى ولها الوان مختلفة وهى ذاتية التغذية وتتكون من خلية واحدة أو مستعمرة من الخلايا وتكون متحركة او غير متحركه. الفطريات والجراثيم غير ذاتية التغذية الى حد كبير. والعوالق الحيوانية تتكون من البروتوزوا وكائنات اخرى كثيرة وتشمل كذلك يرقات بعض الحشرات المائية والاسماك فى اطوار حياتها الاولى.

وكائنات العوالق لها اهميتها فى المياه لأنها تتداخل مع عمليات المعالجة للمياه وتنتج مواد سامة للانسان وتحمى وتأوى الجراثيم الممرضة وتفرز مواد عضوية يمكن ان تتحد مع الكلور فى الماء مكونه مواد عضوية مكلورة (الهالوميثانات المكلورة). وقد تثير الطحالب مشكلات بسبب وجودها فى مجارى المياه السطحية وكذلك فى خزانات المياه المعالجة والمعدة للشرب والاستخدام المنزلى وكذلك يمكن ان توجد هذة العوالق فى ابار المياه السطحية المكشوفة.

وبعض الطحالب له تأثير على الصحة العامة وتوجد الانواع السامة فى مجموعتين هما الخضراء التى تميل إلى الإصفرار والخضراء التى تميل إلى الزرقة والتى هى أكثر سمية. المواد السامة التى تطلقها الطحالب قد لا يوقف تأثيرها عمليات المعالجة بالمرشحات وإستخدام الكلور. كذلك لم تنجح عمليات المعالجة فى حالة إستخدام الكربون المنشط. الطحالب الخضراء التى تميل إلى

الزرقة تسبب إلتهاب المعدة والإمعاء كما يمكن أن تكون مصادر الكيماويات التي تتحد مع الكلور مكونة الميثانات المكلورة. وجود الطحالب فى إمدادات مياه الشرب غير مقبول من الناحية الجمالية، وقد تتداخل الطحالب مع معالجة المياه بزيادة الكلور المطلوب فتسبب مشكلات تتعلق بالطعم والرائحة وانسداد فى المرشحات بما يقلل من كفاءتها.

وقد يشكل نمو الطحالب النباتية أو الحيوانية مصدرا طبيعيا للرائحة والطعم، وفى المياه السطحية تمثل الطحالب المشكلة الرئيسية بينما قد تتكاثر الأشكال الحيوانية فى المياه السطحية وفى خزانات المياه وكذلك فى شبكات المواسير. وكثيراً من الطحالب يفرز زيوتا عند نشاطها التنموى أو عندما تتحلل خلاياها الميتة وهذة الزيوت تضيف مزاقا ورائحة للمياه بالإضافة إلى ما تسببة من أمراض معوية للإنسان وأمراض الحساسية وكذلك فإن تكاثرها له تأثير كبير على الثديات والطيور والأسماك حيث يمكن أن تؤدى إلى الوفاه أو المرض. ونظرا لما تسببه الكائنات حرة العيش من تأثيرات ضارة بالصحة ومشاكل خاصة بالمذاق والرائحة والشكل الجمالى للمياه، ولم يتم التوصل الى معايير بخصوصها. لذلك فإنه يوصى بازالة الكائنات حرة العيش من مياه الشرب حيثما كان ذلك ممكنا، ويتم ذلك بحماية المصدر المائى وإتخاذ اجراءات جيدة لحماية المصدر ومعالجة المياه وتنظيف الشبكات ومراقبة نوعية المياه.

٣- الكشف عن تلوث المياه بالكائنات الحية الدقيقة

ان التعرف والعزل لكائنات حيه دقيقة معينة هو خارج إمكانيات معظم معامل محطات إنتاج مياه الشرب ولذلك فإن حماية الصحة العامة تتم من خلال التطبيق الجيد لتقنيات المعالجة. ونظرا للصعوبات الفنية ولان الكائنات الحية المسببة للامراض قد تكون بكميات قليلة جدا مقارنة بباقى الكائنات الحيه الدقيقة الموجودة فى الماء لذلك استخدمت بعض انواع الكائنات الحية الدقيقة كمؤشر لقياس اثر عمليات المعالجة اى تقييم كفاءة عمليات المعالجة وصلاحيتها لمياه الشرب والمهمة

الاولى للكائنات الدقيقة كمؤشر هو توفير دليل للتلوث الغائطى الحديث من ذوات الدم الحار. ومعايير استخدام الكائنات الحية الدقيقة كمؤشر هى:

١- أن يكون هذا الكائن الحى الدقيق موجودا دائما طالما وجدت كائنات حيه ممرضة.

٢- أن يكون موجودا فى المواد الغائطية بكميات كبيرة.

٣- ألا يكون موجودا فى المياه النظيفة والغير ملوثه بكائنات ضارة.

٤- أن يتاثر بالظروف البيئية وبعمليات المعالجة بنفس الدرجة التى تحدث للملوثات من الكائنات الدقيقة الممرضة.

٥- ان تكون النسبة بين الكائن الدقيق المؤشر الى الكائنات الدقيقة الممرضة عالية.

٦- ان يتوفر كلا النوعين من الكائنات الدقيقة المؤشر والمرضه فى مصدر واحد وقد تم تقييم للكائنات الدقيقة كمؤشر وذلك لكل من الكائنات القولومية (Coliform) الكلية والقولونيات الغائطية (Fecal Coliform).

٧- أن يكون من السهل عزلة والتعرف علية وعدة.

وقد ثبت مناسبة استخدام الكائنات القولونية الكلية كمؤشر.

أ- البكتريا القولومية الكلية : Total Coli Form

وهذه تشمل جميع البكترياً الهوائية والمختلطة ذات الشكل العصوى والتى تخمر اللاكتوز مع تكوين غازات عند درجة حرارة ٣٥° م لمدة ٤٨ ساعة. والقولونيات الكلية تشمل بكتريا الاشريكية القولونية (E.Coli) والتى هى متعددة فى غائط ذوات الدم الحاربالاضافة الى انواع اخرى موجودة بكثرة فى مياه الصرف معظم مصدرها التربة والنبات.

ولايوجد كائن حى وحيد دقيق يصلح كدليل او مؤشر لوجود البكتريا سوى البكتريا القولونية، وسلبيات القولونية الكلية هو اعادة نموها في الماء وكذلك في حالة وجود البكتريا الممرضة (Hepatitis) باعداد كبيرة فانها تعيق نشاط البكتريا القولونية. واخيرا فقد يبدو ان عددا من الكائنات الجرثومية الممرضة تكون اكثر مقاومة من الكائنات القولونية سواء اثناء المعالجة للمياه او فى المياه الطبيعية وخاصة حويصلات البروتوزوا (Cysts) والفيروسات الممرضة. ورغم هذة السلبيات فان قياس القولوينات الكلية كمؤشر مازال اكبر دليل مفيد وعملى عن النوعية البكتيرية لمياه الشرب وأن عدد القولونيات فى المياه يمكن عده.

ب – البكتريا القولوثية الغائطية (Fecal Coliform)

أن وجود البكتريا الغائطية يعطى دلالة على وجود البكتريا الممرضة الغائطية (fecal pathogens) أكثر من البكتريا القولونية الكلية. والبكتريا الغائطية هى أحد مكونات البكتريا القولوينة الكلية ويمكن التعرف عليها بعمل إختبارات ارتفاع درجة الحرارة (٤٣° -٤٤,٥°م). ورغم ان هذا الاختبار يعطى دلائل بوجود البكتريا ذات المصدر الغائطى الا انه لا يميز بين مصادر التلوث سواء كان آدميا او حيوانياً. عدد البكتريا القولونية الغائطية اقل من عدد البكتريا القولوينة الكلية، وهى ليست مستعمله كمؤشر لمعايرة التلوث فى المصدر المائى او كفاءة التطهير او التلوث بعد المعالجة النهائية.

ج – العقديات الغائطية : Fecal Streptococci

وهذه يمكن الاسترشاد بها كدليل للتلوث الغائطى حيث تفيد احيانا فى تحديد مصدر التلوث الغائطى وفى تقييم مدى فعالية عمليات المعالجة.

ء – الكشف على الكائنات الحية الدقيقة و التخلص منها

تستخدم طريقة الانانبيب المتعددة أو الترشيح الغشائى للكشف عن البكتريا القولونية الكلية والقولونية الغائطية وهذة الطرق تستغرق فترة زمنية حوالى ٤٨ ساعة وهناك طرق سريعة لاكتشاف القولونيات الغائطية فى شبكة المياه عند حدوث

الاصلاح فى المحطات او الشبكات. وفى هذة الطريقة يستخدم فى الترشيح الغشائى مستنبت لاكتوز / منتول عـــالى الـدرئ (Mannital meduimHighly Buffered Lactose).

ولحماية مياه الشرب من الفيروسات التى يمكن ان تسبب امراضا معدية فـــان ذلك يتم من خلال استخدام مصدر مائى خالى من مياه الصرف ومحقق له الحمايـــة من التلوث الغائطى او المعالجة الملائمة. إلا أنه لايمكـــن تقييـــم كفـــاءة الرصـــد والتحليل والمعالجة لخلو المياه من الفيروسات بالدرجة التى تحمـــى مـــن غيـــاب الفيروسات. ومـــع ذلك فان المياه تعتبر عولجت معالجة كافيـــة إذا تـــم اســـتيفاء الشروط التالية:

* الوصول فى مراحل المعالجة إلى درجة عكارة أقل من وحدة عكارة بمقياس نيفيلو مترى (NTU)
* تطهير المياة بجرعة كلور تحقق كلور حر زائد مقدارة ٠,٥ ملجرام / الـــتر مع زمن التصاق (Contact Time) مقدارة ٣٠ دقيقـــة فـــى مجـــال رقـــم هيدروجينى أقل من ٨.

وقد تبين ان الأوزون مطهر فعال بالنسبة للفيروسات وهو يفضل للمياه النظيفة اذا وجد أوزون متبقي قدره ٠,٣ -٠,٤ ملجرام / لتر لمدة اربع دقائق. ولـــلأوزون مزايا تفوق الكلور بالنسبة للمياه المحتوية على النشادر والتى يؤكسدها الأوزون الى غاز النيتروجين ولكن لسوء الحظ لا يمكن الاحتفاظ بأوزون متبقـــى فـــى شـــبكة التوزيع. ولاتزال استعمالات الطرق الروتينية لرصد الملوثات القولونية والفيروسية قائمة حيث ان الرصـــد للفيروسات يتطلب إمكانيات معملية لاختبار كميـــات مـــن المياه قد تصل من ١٠٠ الى ١٠٠٠ لتر على سبيل المثال.

وقد ثبت كما سبق ان اشرنا انه يمكن الحصول على ماء خـــالى تماما مـــن الفيروسات من مصادر ملوثة بالغائط عندما يكون تركـــيز الكلـــور المتبقـــى ٠,٥ ملجرام / لتر على الاقل لمدة التصاق لاتقل عن ٣٠ دقيقة وعند رقم هيدروجينـــى اقل من ٨، على اساس اختبار العكارة بمقياس النيفيلو مترى اقل من واحد وكذلـــك

الاحتفاظ بكلور حــر متبقى فى شبكة التوزيع قدره ٠,٢ الى٠,٥ ملجــرام / لــتر لتقليل أخطار النمو البكتيرى ولتوفير الدليل بعدم وجود ملوثـــات بعــد المعالجــة. ونظرا للمقاومة الكبيرة لحويصلات (cyst) أو البيضة للجارديا اللامبيلا وغيرها من البروتوزوا المسببة للأمراض المعوية للكلور وهذه الحويصلات تمثـــل الاطــوار الاولى للبروتوزوا ولذلك فان عدم وجود البكتريا القولونية لا يعتبر دليل بعدم وجود هذه الحويصلات وهذه الاطوار الاولى للجارديا (الحويصلات) يمكن التخلص منــها فى معالجة المرشحات حيث ان كفاءة الاداء للمرشح واختبار الوســـط الترشــيحى المناسب وتنظيم الغسيل العكسى هى اهم طرق التخلص مـــن هــذه الحويصـــلات وكذلك فان البروتوزوا فى مراحل النمو المتقدم تزال فى المرشحات وتقتل بـــالكلور ويستمر قتلها فى الشبكة بالكلور المتبقى.

المياه الجوفية على اعماق متوسطة اى حوالى ٥٠-٦٠ متر او اكثر من سطح الارض تكاد تكون خالية تماما من الملوثات الجرثومية فالبكتريا القولونية والغائطية والبروتوزوا والطحالب أما أن تحتجز فى مسام التربـــة أو ان تمــوت وتتحلــل لا هوائيا لعدم وجود اكسجين فى مسام التربة. والفيروسات تعيش اساسا على الخلايــا الحية التى تحتضنها وهذه كذلك تموت وتحلل لا هوائيا فى التربة وبعد موت الخلية سواء النباتية او الحيوانية فان الفيروس يموت بعد ذلك بفترة زمنية مــن ٣٠ - ٦٠ دقيقة. وحويصلات الجارديا كذلك اما ان تحتجز فى مسام التربـــةأو أن تتحلــل او تحتجز كذلك اطوارها المتقدمة ولذلك فان طبيعة التربة ومسامها لها تأثير كبير فــى حجز والتخلص من الكائنات الدقيقة الحية الممرضة قبل وصولها الـــى الخزانـــات الجوفية على اعماق اكثر من ٦٠ متر. ولهذا فان حماية البئر وحــرم البــئر مــن تسرب مياه الصرف وكذلك التنفيذ الجيد للبئر بما يمنع من تسرب مياه الرشح فــى الفاصل بين قطر الحفر والجسم الخارجى للقيسون ومن ثم منع وصول الملوثـــات البكتيرية الى المياه الجوفية التى يتم سحبها. ولكن يمكن ان تصل هذه الملوثات الى شبكة التوزيع فى حالات الاصلاح والصيانة ووصول المياه فى التربة الى الشــبكة وهذا يتطلب الغسيل الجيد للشبكة بعد الاصلاح بتدفقات مياه عالية لازالة الرواســب الملتصقة بالسطح الداخلى للمواسير التى تحتضن الكائنات الدقيقة وتحميها لتتكـــاثر هذا مع الاهتمام باستخدام جرعة زائدة من الكلور مع زمن التصاق ١-٣ ساعة ثــم

غسيل الشبكة بمياه الشرب المعالجة مع مراعاة وجود كلور متبقى فى الشبكة من ٠,٢ الى ٠,٥ ملجرلم / لتر. لهذا فانه رغم خلو المياه الجوفية على اعماق تزيد عن ٦٠ متر من الكائنات الممرضة الا ان هذا لايمنع من اضافة جرعة الكلور قبل ضخها فى الشبكة مع المحافظة على كلور متبقى على طول مسار الشبكة بما قيمته ٠,٢ ملجرام / لتر عند صنبور اخر مستهلك.

٣- القيم الدليلة لجودة مياه الشرب وخلوها من الكائنات الحية الدقيقة

القيم الدليلة الموضحة فى الجدول الاتى هى دليل للاخذ به طبقا لتوصيات منظمة الصحة العالمية نحو جودة مياه الشرب ولضمان سلامة الامدادات بها وخلوها من الكائنات الحية الدقيقة الممرضة سواء كان الامداد من خلال شبكة المواسير او بغيرها او معبأة فى زجاجات.

جدول (٥) معايير الكائنات الحية الدقيقة مسببة الامراض التى اصدرتها وزارة الصحة

الكائنات الحية الدقيقة	الوحدة	المعايير
القولونيات الكلية (الكوليفورم)	العدد فى ١٠٠سم٣	صفر
القولونيات الغائطية (Fecal)	العدد فى ١٠٠ سم٣	صفر

جدول (٦) القيم الدليلة من الكائنات الحية الدقيقة لجودة المياه

الكائنات الدقيقة	العدد فى ١٠٠ سم٣	ملاحظات
١- المياه المنقولة فى المواسير أ-الماء المعالج الداخل الى الشبكة. * الكائنات القولونية الكلية * الكائنات القولونية الغائطية	صفر صفر	العكارة واحد بمقياس ينفيلومترى التطهير بالكلور يفضل رقم هيدروجينى ٨، الكلور المتبقى ٠,٢ -٠,٥ ملجرام / لتر مع زمن التصاق لا يقل عن ٣٠ دقيقة.

تابع جدول (٦) القيم الدليلة من الكائنات الحية الدقيقة لجودة المياه

الكائنات الدقيقة	العدد فى ١٠٠ سم٣	ملاحظات
ب-الماء غير المعالج الداخل الى الشبكة. * الكائنات القولونية الكلية * الكائنات القولونية الغائطية	٣ صفر	فى عينة احيانا وليس فى عينات متعاقبة فى ٩٥% من العينات خلال سنة
جـ- الماء غير المعاج فى شبكة التوزيع * الكائنات القولونية الكلية * الكائنات القولونية الغائطية	٣ صفر	فى عينة احياناً وليس فى عينات متعاقبة فى ٩٥% من العينات المختبرة خلال السنة
٢- امدادات غير منقولة فى المواسير: * الكائنات القولونية الكلية * الكائنات القولونية الغائطية	١٠ صفر	يجب الايتكرر وان تكرر يتم البحث عن بديل
٣- مياه الشرب المعبأة فى زجاجات * الكائنات القولونية الكلية * الكائنات القولونية الغائطية	صفر صفر	يجب خلو المصدر من اى تلوث غائطى
٤- موارد مياه فى حالة الطوارئ * الكائنات القولونية الكلية * الكائنات القولونية الغائطية	صفر صفر	ينصح الاهالى بغلى الماء اذا لم يمكن التوصل الى القيم الدليلة

الباب الثانى

تنقية مياه الشرب

الباب الثانى

تنقية مياه الشرب

مقـدمة :

إن مصادر مياه الشرب وإن كانت آمنة فى الماضي إلى حد ما، إلا أن تعرضها للتلوث قد ازداد أخيرا مع زيادة الكثافة السكانية والأنشطة التنموية وما تسببه من تلوث لمصادر المياه السطحية والجوفية. ومصادر الملوثات الرئيسية هى مياه الصرف الصحي والصناعى والزراعى. وسواء كانت هذه الملوثات من الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض الوبائية أو من المواد العضوية أو الغير العضوية العالقة أو المذابة أو السامة التى فى معظمها من أسباب الأمراض المزمنة والمسببة كذلك للعكارة واللون في المياه. أو أن تكون هذه الملوثات من المواد المشعة المسرطنة. فان لكل من هذه الملوثات حدوده القصوى فى مياه الشرب لتصبح صحية مستساغة وغير ضارة. وتتحدد خطوات تنقية المياه لاعدادها للشرب بعد تعيين نوع وكمية التلوث في مصدر المياه ثم تحدد خطوات المعالجة لاعداد المياه للشرب لإزالة هذه الملوثات أو تقليل نسبتها إلى درجة النقاء المطلوبة طبقا للمعايير المقررة لمياه الشرب والاستخدام المنزلى. وسواء كان مصدر المياه هو المياه العكرة من المجارى السطحية العزبة أو من الخزانات الجوفية أو من البحار أو أي مصدر أخر. فإن الملوثات توجد عموما في أربع صور عامة وهى:

١- مواد صلبة عالقة :

وهذه المواد الصلبة العالقة أما إن تكون من مركبات عضوية أو غير عضوية وهى من مسببات العكارة واللون للمياه، كما يعلق بهذه المواد كثير من الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض (Pathogens). والعكارة في المياه توجد فى المصادر السطحية للمجارى المائية العزبة ويمكن أزالتها عند المعالجة التقليدية بالمرشحات باستخدام كيماويات الترويب والترسيب.

٢- غازات مذابة :

وهى التي تسبب سوء الرائحة والمذاق. وهذه الغازات المذابة ناتجة عن تلوث المصدر المائي بالملوثات العضوية. تنتشر ظاهرة الغازات المذابة فى المياه الراكدة وفى المياه الجوفية. وهى تزال أساسا بالتهوية للمياه فى أبراج التهوية كما أن المعالجة بالمروبات تزيل نسبة كبيرة منها وخاصة فى حالة استخدام حبيبات الفحم المنشط فى المرشحات أو إضافة بودرة الفحم فى مرحلة الترويب.

٣- الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض : Pathogens

وهى تشمل البكتريا والفيروسات والبروتوزوا والطحالب والفطريات والكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض مثل مرض الكوليرا أو التيفود أو شلل الأطفال أو الأمراض المعوية أو الالتهاب الكبدى الوبائي وأمراض أخرى مصدرها الرئيسي هو إفرازات ذوات الدم الحار الحاملة للمرض مثل الإنسان – الحيوان – الطيور. وتصل هذه الكائنات الدقيقه إلى مياه الشرب عند تلوثها بمياه الصرف الصحي أساسا. معظم الكائنات الحية الدقيقة يباد بالكلور وخاصة البكتريا وبعضها يقاوم التطهير بالكلور مثل الفيروسات وحويصلات الجارديا وهذه يمكن إن تزال بنسبة ٩٩% فى المرشحات التي تعمل بكفاءة. وكذلك عند استخدام مؤكسد قوى مثل الأوزون يمكن القضاء على معظم الكائنات الحية الدقيقة ويحد من نشاط الباقي منها.

٤- المواد المذابة العضوية والغير عضوية :

فى مجارى المياه العزبة توجد المواد العضوية المخلقة منها المذاب ومنها الغير مذاب (Soc's – Syn thetic Organic chemicals). وتزال نسبة كبيرة منها عند معالجة المياه باستخدام كيماويات الترويب والترسيب. وهذه المواد من المبيدات والتي لا تتأكسد بالكلور وهى كذلك بطيئة التحلل إلى المركبات الأولية ولكنها قد تتأكسد بمؤكسد قوى مثل الأوزون. والمبيدات توجد فى مياه المصارف أو فى المجارى العزبة المناوبة وفى فترة السدة الشتوية. أما المواد العضوية المذابة فى المياه الجوفية فهي تشمل المواد العضوية المتطايرة (VOC'S- Volatile Organic Chemicals) الناتجة عن تحلل النباتات أو تسرب المركبات العضوية الأخرى مثل بعض مشتقات البترول. والتخلص من هذه المواد العضوية المتطايرة يتم فى أبراج التهوية كما يحدث عند التخلص من الغازات المذابة. أما المركبات الغير عضوية المذابة فهي تشمل أساسا أملاح العسر فى المياه السطحية والتي تزال بكيماويات الترسيب للوصول إلى الحد المقرر من العسر فى مياه الشرب أو تزال عند استخدام المياه فى العمليات الصناعية كإنتاج البخار لتوليد الطاقة حيث يزال العسر.

المياه الجوفية قد تحتوى على أملاح الحديد والمنجنيز المذاب والذي يرسب عند تعرض المياه للهواء الجوى حيث تتأكسد هذه الأملاح وتعلق فى الشكل الغير مذاب بما يعطى المياه اللون الأحمر الطوبى. وهذه الأملاح تزال فى عمليات التهوية ثم استكمال الأكسدة باستخدام الكيماويات ثم الترسيب والترشيح. المواد الغير عضوية المذابة الزائدة عن المعايير المقررة لمياه الشرب مثل مياه البحار والبحيرات وبعض الخزانات الجوفية فهذه تزال بنظم التحلية المختلفة مثل التناضح العكسي RO أو الاليكترو دياليسيس ED أو التبخير EVA.

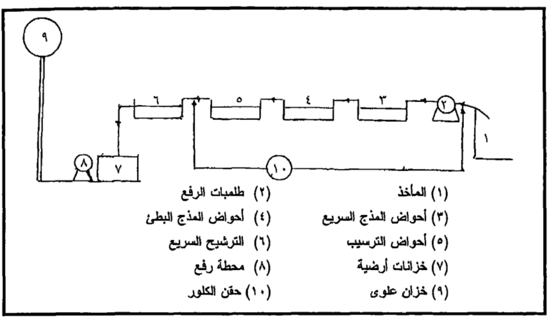
المواد المذابة من المعادن الثقيلة السامة والمسببة للأمراض المزمنة فهذه قد توجد فى كل من مصادر المياه السطحية والجوفية وهى تزال فى عمليات الترويب بنسبة كبيرة جدا وذلك باستخدام الأنواع المختلفة من كيماويات الترويب من الشبة واملاح الحديد.

القسم الأول

تقنيات إزالة المواد العالقة
من مصادر المجارى المائية العزبة

تشمل مراحل تنقية المياه لأغراض الشرب من المجارى العزبة السطحية الآتى:

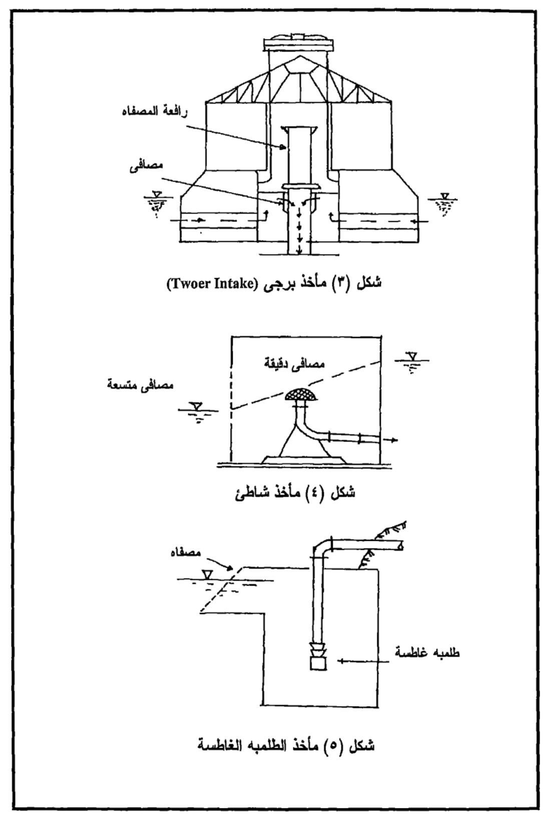
مآخذ المياه من المجرى المائي،. محطة طلمبات لسحب المياه من المأخذ إلى أحواض المعالجة والتي تشمل أحواض المزج السريع ثم أحواض المزج البطيء ثم أحواض الترسيب ثم المرشحات الرملية السريعة ثم خزانات أرضية للمياه المرشحة. محطة رفع المياه إلى الخزانات العلوية بالإضافة إلى أجهزة التغذية بالكيماويات مثل التغذية بالكلور للمياه بعد سحبها من المأخذ وقبل دخولها إلى المرشحات بعد أحواض الترسيب. وحقن الشبة فى أحواض المزج السريع بعد سحب المياه من المأخذ بواسطة محطة الطلمبات وكيماويات أخرى طبقا للحاجة شكل (٢) يوضح المخطط العام لمراحل تنقية مياه الشرب من المصادر السطحية العزبة.



شكل (٢) المخطط العام لمراحل تنقية مياه الشرب من المصادر السطحية العزبة.

١- مآخذ المياه من المجارى العزبة: الأشكال (٣-١١)

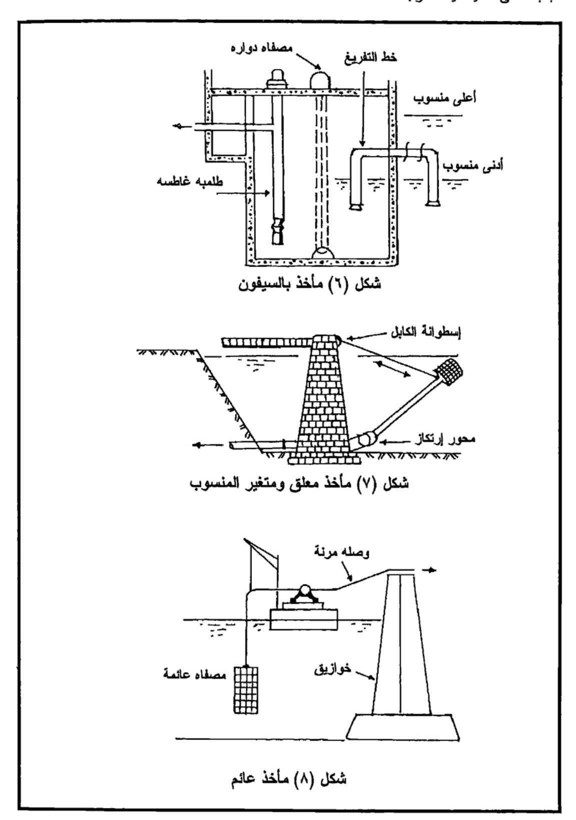
تنشأ المآخذ عموما قريبا من محطات المعالجة والتي تكون فى أماكن مرتفعة بعيدا عن مخاطر السيول والفيضانات ولها طرق اقتراب ومصادر للطاقة. وعند اختيار موقع المأخذ فانه يجب أن يكون بعيدا عن مصادر التلوث من الصرف العشوائي لمياه الصرف الصحي والصناعي. فى جميع الحالات يجب أن يكون موقع المأخذ فوق التيار بمسافة مناسبة لاماكن الصرف المعالج والغير معالج إن وجد. ومع تحديد موقع المأخذ يتم العمل على حمايته من مصادر التلوث المختلفة فى المجرى المائي. ولتجهيز المأخذ فانه يجب عمل الأعمال الإنشائية اللازمة لحماية قاع المجرى المائي وجوانبه بطريقة تضمن الحصول على معدلات المياه المطلوبة الحالية والمستقبلية.وتعتمد منشآت المأخذ على طبيعة المصدر المائي والتغير فى المنسوب والتصرفات على مدار العام وكمية المياه المطلوب تنقيتها ومدى استخدامات المجرى فى الملاحة النهرية. كما يجب أن يراعى فى تصميم المأخذ الزيادة المستقبلية فى استهلاك المياه لمدة ٣٠-٤٠ سنة حيث يمكن زيادة طاقة الطلمبات والأحواض الخاصة بالمعالجة عند توفر المساحات من الأراضي ولكن يصعب زيادة طاقة المآخذ بعد تنفيذه.



شكل (٣) مأخذ برجى (Twoer Intake)

شكل (٤) مأخذ شاطئ

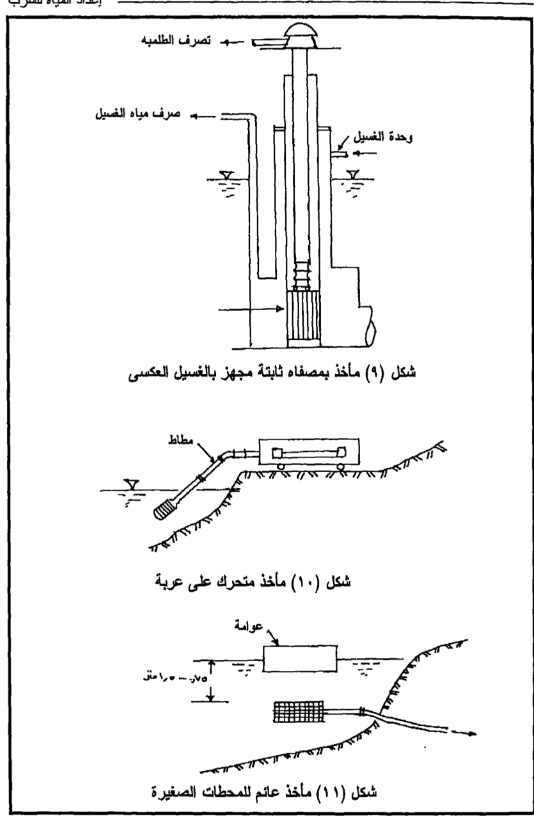
شكل (٥) مأخذ الطلمبه الغاطسة



شكل (٦) مأخذ بالسيفون

شكل (٧) مأخذ معلق ومتغير المنسوب

شكل (٨) مأخذ عائم



شكل (٩) مأخذ بمصفاه ثابتة مجهز بالغسيل العكسى

شكل (١٠) مأخذ متحرك على عربة

شكل (١١) مأخذ عائم للمحطات الصغيرة

إن العناية بالدراسة الأولية لتحديد موقع المأخذ وتصميمه يوفر ثبات نوعية المياه بالكم المطلوب وخفض تكاليف المعالجة والحصول على مياه شرب مستساغة وآمنة باستمرار. وقد تصل تكلفة الدراسات والتصميم والتنفيذ للمأخذ في بعض الحالات اكثر من نصف تكلفة المحطة ككل. يمكن تنفيذ المأخذ بما يتناسب مع ظروف المجرى المائي حيث المآخذ البرجى والذي يمكن استخدامه فى المجارى المائية الملاحية والغير ملاحية والمآخذ الشاطئية المغمورة والمآخذ التي تعمل بالسيفون وكذلك المعلقة والعائمة المزودة بماسورتين لاستخدامها عند ارتفاع وخفض المياه الأشكال من ٣-١١ يوضح كروكي لمختلف أنواع المآخذ.

تجهز المآخذ بالمصافي لحجز الأجسام الطافية والعالقة والتي تعيق الضخ وعمليات التنقية والمصافي المستخدمة هي مصافي القضبان الحديدية (BAR SCREENS) حيث الفواصل بين القضبان من ٠,٥ إلى ٥ سم وفى حالة قلة المواد الطافية المتوقعة يمكن تقليل الفواصل. توضع المصفاة بزاوية ٦٠-٧٥° بالنسبة للمستوى الأفقي. ولتسهيل عملية التنظيف فى حالة التنظيف اليدوي توضع المصافي بزاوية ٣٠-٤٥° بالنسبة للمستوى الراسي. وتكون سرعة المياه المتجهة إلى المصفاة منخفضة تصل إلى ٠,١ إلى ٠,٢ م/ث (متر فى الثانية) لمنع رسوب الأجسام العالقة. كما يجب ألا يزيد معدل تدفق المياه فى الفتحات بين القضبان عن ٠,٧ متر فى الثانية للمصافى الثابتة وذلك لمنع انسداد المصافي. وتكون سرعة المياه فى ماسورة السحب إلى محطة الطلمبات من ١ إلى ١,٥ متر فى الثابتة.

المصافي النظيفة تسمح بمرور المياه مع فقد فى الضغط لعدة سنتيمترات قليلة فقط ولكن الفقد فى الضغط يرتفع بشدة عند تراكم المواد العالقة فى فتحات المصفاة فى حدود من ٠,١ الى٠,٢ متر. ولمواجهة عدم انقطاع انتظام التنظيف اليدوي أو التوقف للتنظيف الآلي فانه من الناحية العملية تصمم المصافي بفقد فى الضغط يعادل من ٠,٥ ألي ١ متر وكذلك فانه بزيادة مساحة المصفاة يمكن التغلب على الفقد فى الضغط. وقد تستخدم مصافي إضافية ذات فتحات صغيرة (Fine

Screens) قبل رفع المياه المعالجة لإزالة الأجسام العالقة ولتقليل زمن الترسيب أو مساحة المرشح. تزال الأجسام العالقة المتراكمة على المصافي بالطرق الميكانيكية (Rack screen) أو بالهواء المضغوط أو الماء سواء كانت المصافي ثابتة أو متحركة كما يمكن اللجوء إلى التنظيف اليدوي فى المحطات الصغيرة. وفى بعض الحالات للمجارى السطحية العزبة المناوبة حيث ينخفض منسوب المياه وتصبح ساكنة يتحول المجرى المائي إلى مصرف زراعي وتتلوث المياه وكذلك مع ركود المياه ترسب الأجسام العالقة العضوية والغير عضوية ومع نقض الأكسجين فى قاع المجرى تتحلل المواد العضوية لا هوائيا منتجة غازات كبريتيد الهيدروجين والميثان بما يؤثر على رائحة ومذاق المياه العكرة. ولإزالة هذه الغازات يتطلب استخدام حبيبات الفحم المنشط لامتصاصها فى المرشحات والتي تمتز كذلك المركبات العضوية أو بأكسدة هذه المواد والغازات بمؤكسد قوى مثل الأوزون. ولتجنب هذه الملوثات قبل تنقية المياه يمكن تصميم المأخذ بما يوفر التهوية للمياه قبل وصولها إلى ماسورة المأخذ وهذه التهوية تزيد من أكسجين المذاب في الماء والذي يعمل على أكسدة المواد العضوية وإزالة الغازات المذابة المسببة للمذاق والرائحة. وتستخدم لهذا الغرض المآخذ العائمة أو متغيرة المنسوب حيث ماسورة السحب على عمق ٠,٧٥ إلى ١,٢٥ متر من سطح الماء. وفى حالة خلط مياه المصارف فى مجرى المياه العزبة فيجب تجنب إنشاء المآخذ والبديل هو اللجوء إلى المياه الجوفية كمصدر لمياه الشرب حيث التكلفة اقل بكثير بجانب أن الملوثات العضوية تتحلل أثناء رحلتها إلى الخزان الجوفي وتختفي تماما على عمق ٥٠ – ٦٠ متر من سطح الأرض هذا بالإضافة إلى خلو المياه الجوفية من العكارة بما يوفر مراحل التنقية بالمرشحات ولكن يلزم حقن المياه بالكلور قبل الضخ فى الشبكة. وفى هذه الحالة يلزم التأكد من خلو المصدر الجوفي من المعادن الثقيلة الضارة أو أن تكون تركيزاتها فى حدود المعايير المقررة. وقد يصعب فى بعض الأحيان اللجوء إلى هذا البديل أي استخدام المياه الجوفية وخاصة فى منطقة الدلتا شمال خط الزقازيق دمنهور وذلك لملوحتها والبديل الأخر هو استغلال مجرى مائي آمن وان كان على مسافة بعيدة.

٣- التخلص من المواد الصلبة العالقة بالترسيب

أولى المراحل تنقية المياه العكرة هو التخلص من المواد الصلبة العالقة بعد خروجها من المصافي وبعد أن يتم التخلص من نسبة كبيرة من الأجسام العالقة والطافية طبقا لحجم الفتحات فى المصافي. وبعد خروج المياه من المأخذ الى بيارة المياه العكرة فإنها ترفع بواسطة محطة الرفع الواطي إلى أولى مراحل التنقية وهى التخلص من المواد العالقة بالترسيب.

أ- نظرية الترسيب :

الترسيب هو التخلص بفعل الجاذبية من المواد العالقة والتي يزيد وزنها النوعي عن الوزن النوعي للماء. تزداد كفاءة الترسيب مع زيادة حجم الأجسام العالقة وزيادة كثافتها النوعية كما في حالات الترسيب العادي (Plain Sedimentation) بدون إضافة كيماويات مساعدة. والأجسام العالقة فى المياه العكرة يتراوح حجمها ما بين فتحات المصافي الصغيرة فى حالة استخدامها إلى أجسام عالقة ذات قطر صغير جدا يصل إلى ٠,٠٠٠١ مليمتر (٠,١ ميكرون) وهذه ترسب ببطيء شديد جدا وان كان يمكن التخلص منها في المرشحات السريعة التيتعمل بكفاءة. وقد وجد من فحص عدة حالات أن الكثافة النوعية للمواد العالقة تتراوح ما بين ٢,٦٥ لحبيبات الرمل الناعم الى حوالي ١,٢ لحبيبات الطمى المحتوى على ٩٥% ماء، كما وجد أيضا أنه إذا أحسن تصميم مآخذ المياه فنادرا ما يزيد قطر حبيبات الرمل عن ٠,١ مليمتر وكتل الطمى عن واحد مليمتر. يمكن القول إن الترسيب العادي فى عمليات تنقية المياه يخضع لقانون ستوك (STOCK'S Law) والذي ينص على الأتي:

$$S = \frac{1 \times g(Ps - P)D^2}{18M}$$

حيث

S: **سرعة الترسيب سم /ث**

g: **عجلة الجاذبية الأرضية ٩٨١ سم/ث**

M: اللزوجة بالسنتيمتر مربع فى الثانية

P: الوزن النوعي للمواد العالقة

Ps: الوزن النوعي للماء

D: قطر حبيبات المواد العالقة

وحيث أن السائل هو الماء إذن كثافة السائل =١ وتصبح المعادلة

$$S = \frac{g(Ps-1)D^2}{18M}$$

من هذه المعادلة ترى انه كلما زاد الوزن النوعي للجسم العالق زادت سرعة ترسيبه، كلما زادت لزوجة الماء انخفضت سرعة الترسيب، كلما زاد قطر الجسم العالق زادت سرعة ترسيبه وكذلك تزداد نسبة التخلص من الأجسام العالقة مع زيادة زمن الترسيب. ولإيضاح تأثير هذه العوامل يلزم التنويه عنها.

ب- اللزوجة

لزوجة الماء تزداد مع ارتفاع درجة الحرارة حيث:

درجة الحرارة الماء م° : صفر - ١٠ - ٢٠ - ٣٠ - ٤٠ - ٥٠.

اللزوجة سم٢ / ث : ١,٧٨ - ١,٣ - ١ - ٠,٨ - ٠,٦٥ - ٠,٥٩.

فإذا انخفضت درجة الحرارة من ١٠ إلى صفر ترتفع لزوجة الماء من ١,٣ إلى ١,٧٨ سم٢ /ث وتقل سرعة الترسيب تبعا لذلك. طبقا لقانون ستوك فإن سرعة الترسيب تزداد كلما ارتفعت درجة حرارة الماء كما إن تأثير ارتفاع درجة الحرارة على سرعة الترسيب اكبر من زيادة سرعة الترسيب نتيجة زيادة الكثافة النوعية للمواد العالقة.

ج- القطر والوزن النوعي للأجسام العالقة

سرعة الترسيب لمختلف المواد العالقة فى المياه الساكنة عند درجة حرارة ١٠°م هي كما فى الجدول (٧) حيث يوضح قطر الحبيبات وكثافتها. ومن هذا الجدول إذا كان قطر الجسم ٠,٢ ، ٠,١ مليمتر وعمق حوض الترسيب ٣ متر

وسرعة ترسيبه ١٠ مليمتر فى الثانية فإنه يحتاج إلى فترة زمنية مدتها ٥ دقائق ليرسب (٣٠٠٠/١٠×٦٠) = ٥ ق.

إما فى حالة الطفلة الناعمة بقطر ٠,٠٠١ مليمتر فهي تحتاج إلى ٢٢٥ يوم لترسب فى قاع حوض بعمق ٣متر: (٣٠٠٠/ ٠,٠٠١٥٤ ×٦٠ × ٦٠ × ٢٤ = ٢٢٥ يوم).

جدول(٧) سرعة الترسيب المختلفة لمواد العالقة فى المياه الساكنة عند ١٠°م.

المادة العالقة	القطر بالمليمتر	سرعة الترسيب بالمليمتر في الثانية	
	١سم = ١٠٠٠٠ميكرون	للأجسام ذات الكثافة ٢,٦٥	للأجسام ذات الكثافة ١,٢
رمل خشن	١- ٠,٦	١٠٠- ٦٣	١٢-٧,٢
رمل متوسط	٠,٥-٠,٣	٥٣-٣٢	٦-٣,٦
رمل ناعم	٠,٢-٠,١	٢١-٨	٢,٤-١,٢
رمل ناعم جدا	٠,٨-٠,٠٥	٦-٢,٩	٠,٥٤-٠,٢١
طمي	٠,٠٤-٠,٠١	٢,١ - ٠,١٥٤	٠,١٣ - ٠,٠٨٤
طمى ناعم	٠,٠٠٨ - ٠,٠٠٥	٠,٠٩١ - ٠,٠٣٥	٠,٠٠٥٤ - ٠,٠٢١
طفله	٠,٠٠٤- ٠,٠٠١٥	٠,٠٢١ - ٠,٠٠٣٥	٠,٠٠١٣ - ٠,٠٠٠١٩
طفله ناعمة	٠,٠٠١- ٠,٠٠٠١	٠,٠٠١٥٤- ٠,٠٠٠١٥٤	٨×١٠$^{-٦}$ - ٨٤×١٠$^{-٩}$
أجسام هلامية	أقل ٠,٠٠٠١٠٠٠	لا ترسب إطلاقا	لا ترسب إطلاقا

القسم الثاني

استخدام الكيماويات للتخلص من الأجسام العالقة

نظراً لأن زمن الترسيب اللازم لإزالة الأجسام العالقة المسببة للعكــارة غــير عملي بالإضافة إلى الأجسام الهلامية التى لا ترسب والتي تسبب تغير فــى لــون ومذاق المياه. وهذه الأجسام لا تسبب عكارة فقط بل يعلق بها كثير مــن الكائنــات الدقيقة ولذلك تم اللجوء إلى استخدام بعض الكيماويات الغير قابلة للذوبان فى المــاء وتكون زغبات هلامية (Floc's) والتي تلتصق بالمواد العالقة حيث يــزداد الحجــم (Agglomerates) وتتجمع وترسب بالإضافة إلى أنها تمتز على سطحها الخــارجي بعض الأجسام الصغيرة العالقة وكذلك الهلامية بما يمكن من إزالة هــذه الأجســام العالقة أسرع من الترسيب العادي. وهذه المواد هي مواد الترويب وهى غير ضارة وتعمل على تحسين اللون والرائحة والمذاق للميــاه بدرجــة كبــيرة. واســتخدام كيماويات الترويب يزيل الأجسام الهلامية التي تتراوح في حجمــها بيــن المذابــة والعالقة (٥×١٠^-٦ إلى ٢×١٠^-٩ مليمتر) والتي تحمل شحنة كهربية سالبة وهى فى حالة ثبات (Stabilized). ونظرا لشحنتها الكهربية المتماثلة ولقرب كثافتها من كثافة الماء تظل عالقة.

كيماويات الترويب تحمل شحنة موجبة وعند أضافتها يحدث عدم ثبات للأجسام العالقة التي تحمل شحنة سالبة عندئذ تتجمع جسيمات اكبر فى الحجم وبذلك تــزداد

سرعة ترسيبها. المواد التي تزال بالمروبات هي المسببة للعكارة واللون. والعكارة هي نتيجة وجود العوالق الطينية والطحالب والمخلفات الحيوانية أما اللون فهو يسبب تحلل المواد العضوية والنباتات. المروبات تزيل كثيرا من الكائنات الحية الدقيقة ذات العلاقة بالصحة العامة والتي تختبئ فى الأجسام العالقة وتزيل كذلك كثيرا من المواد العضوية المخلقة SOC's والتي توجد فى مياه المجارى السطحية مثل المبيدات وتزيل كذلك أملاح الحديد والمنجنيز التي تعلق بها بعد أكسدتها بالهواء الجوى أو كيماويات الأكسدة.

وتزيل كيماويات الترويب المواد العضوية الدبالية (Humic Substances) وهى ناتجة من مواد التربة وتحلل النباتات ولها مكونات أروماتية وأليفاتيه (Aromatic Aliphatic) وتشمل حامض الفولفيك الشديد الذوبان فى الماء وحامض الهيوميك (Humic) الأقل إذابة فى الماء. والأكثر انتشارا فى المياه السطحية هو حامض الفولفيك. الأحماض الدبالية تعكس الضوء وهى المكون الرئيسي للمواد العضوية فى الماء فهي توجد فى كل المياه السطحية ومعظم المياه الجوفية. والمواد الدبالية تكون مركبات معقدة مع الأجسام العالقة والأملاح المعدنية والمركبات العضوية المخلقة (SOc' s) بما يساعد على إزالتها فى عمليات الترويب. وقد ثبت إن هذه المواد الدبالية من مسببات تكون مركبات الترايهالوميثان (THM'S) عند استخدام الكلور كمطهر ومؤكسد. ولذلك زاد الاهتمام نحو إزالة هذه المواد الدبالية بالترويب فى تنقية المياه حتى وان كان إزالة اللون والعكارة ليس هو الهدف من عملية الترويب.

خصائص استخدام كيماويات الترويب المختلفة

عملية الترويب تتم على ثلاث مراحل متتالية وهى تجهيز المروب ثم المزج السريع للمروب مع المياه حيث يحدث عدم ثبات للمواد العالقة ثم الخلط البطيء فى أحواض التزغيب (Floccu Later) حيث تتم عملية تكوين الزغبات (Floc's) نتيجة التصاق المواد العالقة الغير ثابتة مع المروب. ولكبر حجم الزغبات المتكونة نتيجة هذا الالتصاق وزيادة كثافتها يمكن التخلص منها بالترسيب والترشيح.

المروبات المستخدمة عادة هي كبريتات الألومنيوم (الشبه) وكبريتات الحديديك وكبريتات الحديدوز، كلوريد الحديديك، ألومنيات الصوديوم. وتستخدم أحيانا الشبه السوداء والتي هي خليط من الشبه وبودرة الفحم المنشط بنسبة ٥% من الفحم المنشط. وفى بعض الحالات تستخدم البلمرات عالية الكثافة فى عملية الترويب. والمرويات تزيل كذلك بالترسيب الكيماوي بعض أملاح المعادن الثقيلة ذات الأثر السلبي على صحة الإنسان. فالشبه فى المجال المتعادل ترسب الزرنيخ خماسي التكافؤ والكروم ثلاثي التكافؤ والرصاص والسيلينيوم وأملاح الفضة بنسبة إزالة ٧٠-٩٠ % وأن كانت نسبة الترسيب تزداد مع زيادة الرقم الهيدروجيني نحو القلوية. ولكن الشبة لا تزيل الزرنيخ ثلاثي التكافؤ والباريوم والكادميوم والكروم سداسي التكافؤ والسيانيد والسيلينيوم الرباعي والنحاس وبعض المركبات العضوية. ولكن هذه المواد تزال باستخدام المروبات من أملاح الحديد فى مجال رقم هيدروجيني مرتفع أعلا من ٩. الرقم الهيدروجيني لمياه النيل هو من ٧,٥ – ٨ فقط، والمرويات حامضية بطبيعتها حيث تتفاعل مع القلوية الطبيعية أو المضافة إلى الماء مكونة كبريتات القلوى وراسب جيلاتيني الذي هو الايدروكسيد للمروب وهذا الايدروكسيد يحمل شحنة موجبة كما فى المثال التالي:

$$Al(OH)_3 \rightleftarrows Al^{+++} + 3(OH^-)$$

بينما الأجسام الهلامية العالقة تحمل شحنة سالبة وعند الخلط يحدث الجذب والالتصاق مع الايدروكسيد لتتكون الزغبات (Floc's) الأكبر حجما وكثافة كما تعمل الطبيعة الجيلاتينية لايدروكسيد المروب على اصطياد الأجسام العالقة وامتزازها على السطح بما يزيد من حجم الزغبات حيث يمكن أن ترسب بسهولة. كما يلزم للأداء الجيد للمروب وجود قلوية فى الماء. القلوية فى مياه النيل هي حوالي ١٣٠ جزء فى المليون مقيمة ككربونات كالسيوم وهى تشمل قلوية الكربونات والبيكربونات لاملاح الصوديوم أساساً. وفى بعض أنواع المياه قد لا تتوفر القلوية اللازمة لعمل المروب بكفاءة عندئذ يتم إضافة قلوى مثل الصودا آش (كربونات الصوديوم) أو الجير الحى أو لبن الجير $Ca(OH)_2$.

أنواع كيماويات الترويب

١- كبريتات الألومنيوم (الشبة): $AL_2(SO_4)_3 . 14H_2O$

وهى تصنع بخلط خام البوكسيت (Bauxite) المحتوى على أكسيد الألومنيـــوم مع حامض الكبريتيك لدرجة الغليان. واستعمل البوكسيت من خام الواحات الخارجة لفترة طويلة كما يوجد فى مناطق أخرى مثل جنوب سيناء. الشبة المستخدمة فـــى تنقية مياه الشرب يجب ألا تزيد نسبة أكسيد الحديد فيها عن ٠,٩% والزرنيخ عـــن ٥٠ جزء فى المليون.

ولإعداد الشبة للاستخدام فانه يتم تجهيز محلول الشبة بتركيز ٤-٥% ويضاف إلى المياه العكرة بنسبة ٥-٨٥ جزء فى المليون حسب درجة العكارة مع عدم زيادة الجرعة عن هذا الحد حيث ما يزيد عن هذا المقدار وجد مذابا فى الماء. وقد ثبـــت إن المواد العالقة من الطمي تمتص نحو ٢٠-٣٠% من جرعة الشبه بما لا يمكـــن من تفاعلها مع البيكربونات الموجودة فى الماء مما يتطلب فى بعض الحالات عمل الترسيب الأولى (Plain Sedimentation) للتخلص من أقصى نسبة مـــن الأجســـام العالقة. إذا انخفض الرقم الهيدروجيني عن ٦,٨ بما يضر بصحة الإنسان لا تـــزاد جرعة الشبه ولكن إما إن يزداد الزمن اللازم للترســـيب أو إضافـــة الصـــودا أش لتعويض استهلاك القلوية الموجودة أصلا فى الماء.

وتفاعل الشبة مع القلوية الطبيعية أو المضافة للماء يتم كالأتي:

(1) $AL_2(SO_4)_3 .14\, H_2O + 3\, Na_2CO_3 \longrightarrow 2AL(OH)_3 + 3Na_2SO_4 + 3CO_2 + 14H_2O$

(2) $AL_2(SO_4)_3 .14\, H_2O + 3\, Ca(OH)_3 \longrightarrow 2AL(OH)_3 + 3CaSO_4 + 14H_2O$

(3) $AL_2(SO_4)_3 .14\, H_2O + 3\, Ca(HCO3)_2 \longrightarrow 2AL(OH)_3 + 7CaSO_4 + 6CO_2 + 14H_2O$

(4) $AL_2(SO_4)_3 .14\, H_2O + NaHCO_3 \longrightarrow 2AL(OH)_3 + 3Na_2SO_4 + 2CO_2 + 14H_2O$

أيدر وكسيد الألومنيوم الناتج عن هذه التفاعلات للشبه مع القلوية الموجودة فى الماء أو المضافة يكون الزغبات (FLOC'S) التي لا تذوب فى الماء والتي تزيـــل

الأجسام العالقة الصغيرة جدا والهلامية (Colloidal). ولأفضل النتائج فـــان الرقـــم الهيدروجيني للماء يكون ما بين ٦,٥-٨ وجرعة الشبه تكون من ٥ إلى ٨,٥ جــزء فى المليون طبقا للعكارة ولون المياه. تحدد الجرعة عموما طبقا لاختبارات القنينـــة (Jar Tests).

وتتوقــف ضوابط استخدام الشبه كمروب على أساس أنه عند أضافتــها إلـــى الماء فان نواتج التحلل تكون أيون الهيدروجين الذي يعمــل علـــى خفــض الرقــم الهيدروجيني للماء كما فى المعادلة.

$$AL\ (OH)_3 + H_2O \longrightarrow AL\ (OH)_4 + H^+$$

الخفض فى الرقم الهيدروجيني يتوقف على قلوية الماء فلكل ١مليجرام / لـــتر من الشبه التي تتفاعل لتنتج راسب من أيدر وكسيد الألومنيوم يستهلك ٠,٥ مليجرام / لتر من القلوية المقيمة ككربونات كالسيوم فعنـــد إضافـــة جرعـــة مـــن الشـــبة ٢٠مليجرام /لتر فان القلوية اللازمة للتفاعل هي ١٠ مليجرام / لتر بمــــا يتطلـــب إضافة قلوي أخر إلى الماء لتوْفير القلوية والمحافظة على الرقم الهيدروجيني للمـــاء لترسيب أيدر وكسيد الألومنيوم وتحقيق أقصى ترويب. الزغبــــات التـــي تتكـــون باستخدام مروب الشبه تختفي فى حالة نقص الرقم الهيدورجيني وكذلك فـــى حالـــة زيادته يتآين أيـــدر وكسيد الألومنيوم إلى الألومنيات التي تذوب فى الماء. ولـــــهذا فان افضل النتائج لتكوين الزغبات تكون فى مجال هيدروجين بين ٦,٥-٨ وعــــادة فان الجرعة للشبة هي من ٥-٨٥ مليجـــــرام/ لـــتر والجرعـــة المتوســـطة هـــي ١٩مليجرام / لتر والمياه شديدة العكارة لا تزاد الجرعة عن ٨٥ مليجــــرام / لـــتر حيث ما زاد عن ذلك يذوب فى الماء وكذلك لا تقل.

٢- كبريتات الحديدوز (Ferrous Sulphat)

كبريتات الحديدوز يـــكون فيها الحديد ثنائي التكافؤ والرمـــز الكيميـــائي هـــو ($FeSO_4 .7H_2O$) وهى تكون على هيئة بلورات خضراء لامعة جافة وقـــد تكـــون أحيانا على شكل كتل كبيرة ولها أسماء تجارية مثل الزاج الأخضر (Copperas) أو

(Sugar Sulphate of Iron) وعند استخدامها كمروب لمياه الشرب لا تزاد فيها نسبة الشوائب عن ٢% وحامض الكبريتيك عن ٠,٤% والزرنيخ عــن ٥٠ جــزء فــى المليون. وتكون نسبة الحديد القابل للذوبان فى الماء ١٩,٧%. أساس عمل كبريتات الحديدوز كمروب هو تكون أيدر وكسيد الحد يديك نتيجة لوجـــود الكربونـــات أو القلوية الموجودة فى الماء مع أكسجين الهواء الجوى فتتحول كبريتات الحديدوز إلى أيدروكسيد الحديديك الذي له خواص فى الـــترويب لا تقــل عــن أيــدر وكســيد الألومنيوم. وتفاعلات كبريتات الحديدوز مع القلوية الطبيعية أو المضافة إلى المـــاء كالآتي:

$$2\,Fe\,SO_4.\,7H_2o + 2\,Ca\,(OH)_2 \longrightarrow 2Fe(OH)_2 + 2CaSO_4 + 14H_2O$$

$$2FeSO_4\,.7H_2O + 2NaHCO_3 \longrightarrow Fe(OH)_2 + Na2SO_4 + 2CO_2$$

أيدر وكسيد الحديدوز يذوب فى الماء وعند أكسدته بالأكسجين المذاب فى الماء أو باستخدام جرعة عالية من الكلور فانه يتأكسد إلى أيـــدر وكســـيد الحديديـــك $Fe(OH)_3$ وهو راسب جيلاتينى لا يذوب فى الماء ويرسب تدريجياحـــاملا الأجســـام العالقة فى شكل راسب. يضاف الجير كمستحلب من لبن الجــــير $Ca(OH)_2$ بعـــد إضافة كبريتات الحديدوز أو معها لرفع الرقم الهيدروجين ولزيادة سرعة الترسيب. كمية المروب من كبريتات الحـــديدوز تكون ما بين ٥-٥٠ مليجـــرام / لـــتر مـــع إضافة نسبة من الجير حوالي ٠,٤ من كبريتات الحديدوز وتزيد نسبة الجـــير مـــع زيادة العكارة فى الماء حتى تصل إلى نفس نسبة كبريتات الحديدوز فى الماء.

$$4Fe\,(OH)_2 + 2H_2O + O \longrightarrow 4Fe(OH)_3$$

أملاح الحديد حامضية وتستهلك كل القلوية الطبيعية الموجودة فى الماء أثنـــاء الترسيب كايدروكسيد مما يتطلب إضافـــة مســـتحلب لبـــن الجـــير لرفـــع الرقـــم الهيدروجيني. وكبريتات الحديدوز تعطـــى افضـــل نتـــائج للـــترويب عنـــد رقـــم الهيدروجيني ٨,٥ ولا تستخدم للمياه الملونة. وأملاح الحديد اكثر عداونية من الشبة وتحتاج إلى مهارة عالية فى استخدامها وهي تنشط البكتريا المؤكسدة لمعدن الحديد.

ولتحقيق أكسدة الحديدوز إلى الحديديك فى المجال المتعادل تتم الأكسدة بواسطة الأكسجين المذاب فى الماء بالإضافة إلى جرعة عالية من الكلور ٢٧ مليجرام / لتر. وعند استخدام كبريتات الحديدوز كمروب أمكن الاستغناء عن الترشيح والتعقيم وعمل الترسيب فقط وذلك عند زيادة كمية الجير المضاف بعد كبريتات الحديدوز حتى رقم هيدروجين ١٠,٥ عندئذ يمكن الحصول على مياه شفافه لا تحتاج إلى الترشيح بالإضافة إلى قتل البكتريا الضارة التي لا تعيش عند رقم هيدروجيني ١٠,٥. وتزال القلوية الزائدة بتمرير ثاني أكسيد الكربون فى الماء فيحولها إلى بيكربونات غير ضارة. كبريتات الحديدوز اقل فى تكلفة استخدامها من الشبه بالإضافة إلى إن الزغبات الناتجة عنها كمروب سريع الترسيب لزيادة الكثافة النوعية. ولكن استخدامها يتطلب إضافة الجير والذي يسبب تراكم وترسيبات في الشبكة نتيجة تفاعله مع قلوية الماء كما إن كبريتات الحديدوز لا تصلح كمروب مع المياه الملونه أو المياه اليسر. وعند استخدام كبريتات الحديدوز مع الكلور بجرعة ٢٧ مليجرام / لتر مع زمن تلامس صغير لأكسده الحديدوز إلى الحديديك فأن الناتج يكون ٤٠% كبريتات حديديك، ٦٠% كلوريد حديديك.

٣- أملاح الحديد الأخرى

من مركبات الحديد المستخدمة كمواد ترويب كلوريد الحديديك وكبريتات الحديديك. كلوريد الحديديك شديد العدوانية فى الحالة الصلبة أو المحلول وعادة لا يستخدم فى معالجة مياه الشرب. كبريتات الحديديك شديدة الحموضة وشديدة العدوانية مما يستلزم إن تكون مهمات النقل والتخزين مقاومة للتآكل. والمروبات من أملاح الحديديك هي عوامل أكسدة فتزيل كبريتيد الهيدروجين وتحسن نوعية المياه وتستخدم فى تنقية مياه الصرف الصناعي ومعالجتها، كما تعمل على ترسيب كثيرا من المعادن الثقيلة. ويتطلب استخدام مركبات الحديديك كمرويات إضافة أيدروكسيد الكالسيوم لرفع القلوية للماء وترسيب أيدر وكسيد الحديديك. والجرعة المناسبة من كلوريد الحديديك أو كبريتات الحديديك هي من ٨,٥ إلى ٥١ مليجرام / لتر ومجال الرقم الهيدروجيني المناسب هو من ٥,٥ إلى ١١.

تفاعلات مركبات الحديديك مع الجير المطفى (لبن الجير) هي كالأتي:

$$2\,FeCl_3 + 3\,Ca(OH)_2 \longrightarrow 2Fe(OH)_3 + 3CaCl_3$$

$$Fa_2(SO_4)_3 + 3Ca(OH)_2 \longrightarrow 2\,Fe(OH)_2 + 3Ca\,SO_4$$

أيدر وكسيد الحديدوز يذوب فى الماء وعند أكسدته بالأكسجين المذاب فى الماء أو باستخدام جرعة عالية من الكلور فانه يتأكسد إلى أيدر وكسيد الحديديك $Fe(OH)_3$ وهو راسب جيلايتنى لا يذوب فى الماء و يرسب تدريجيا.

٤- ألومنيات الصوديوم : Sodium Aluminate (Na2Al2O3)

وهذا المروب استخداماته محدودة وهو قلوي فى تفاعلاته حيث يعمل على رفع الرقم الهيدروجيني. وهو مناسب للاستخدام فى المياه قليلة القلوية الطبيعية وكذلك فى المياه اليسر. وهذا المركب يتفاعل بسرعة مكونا رغبات من ألومنيات الكالسيوم $Ca\,Al_2O_3$ كما فى المعادلات الآتية :

$$Na_2\,Al_2O_4 + Ca\,SO_4 \longrightarrow Ca\,Al_2O_4 + Na_2SO_4$$

$$Na_2\,Al_2O_4 + Ca\,Cl_2 \longrightarrow Ca\,Al_2\,O_4 + 2Na\,CL$$

$$Na_2\,Al_2O_4 + Ca\,(HCO_3)_2 \longrightarrow Ca\,Al_2\,O_4 + Na_2\,CO_3 + CO_2 + H_2O$$

ألومنيات الصوديوم تثبط عدوانية المياه ونظرا لارتفاع تكلفتها فلا تستخدم عمليا.

٥- الجير المطفى أو الجير الحي (Ca O –Ca(OH)2)

يستخدم الجير المطفى أو لبن الجير $Ca(OH)_2$ أو الجير الحي Ca O فى تنقية مياه الشرب ومياه الصناعة منفردا أو مع غيره من المروبات كالشبة ومركبات الحديد ويستعمل كذلك فى معالجة المياه لإزالة العسر ويستعمل أما على هيئة الجير الحي (Ca O) أو الجير المطفى $Ca(OH)_2$. الجير الحي هي ناتج حرق كربونات الكالسيوم مكونا أكسيد الكالسيوم.

حرارة

$$CaCO_3 \longrightarrow CaO + CO_2$$

وبإضافة الماء إلى الجير الحي (CaO) يتكون الجير المطفى. يمكن تحضير محلول الجير بتركيز ٤-٥% والذي هو لبن الجير. يجب إن يكون الجير الحي تام الاحتراق وخال من الشوائب (مثل الفحم، الرماد) وأن يكون قابلا للتفكك جميعه عند خلطه في الماء وأن يكون ابيض جاف مسحوقا سحقا جيدا ومتجانس الحبيبات خال من المواد الغريبة التي تعيق استخدامه بواسطة أجهزة الإضافة للجير الحي أو لمحلول لبن الجير.

٦- البلمرات المستخدمة في الترويب

البلمرات إما إن تكون من المواد عضوية أو من مواد غير عضوية:

أ- البلمرات من المواد الغير عضوية

وهذه تشمل البلمرات الغير عضوية من أملاح الحديد والالومنيوم والسيليكون. فعند معايرة محلول مركز من أملاح الحديد مع قلوى لدرجة ما قبل التعادل (Partilly Neutralized) تتكون بلمرات من أملاح أيدروكسيد الحديد (Colloidal Amorphous Ferric Hydroxide Base). وكذلك عند عمل المعايرة الغير مكتملة للتعادل لمحلول مركز من أملاح الألومنيوم كما في حالة التعادل الجزئي (Partial Neutralized) لكلوريد الألومنيوم حيث يتكون مركب بولي ألومنيوم كلوريد (PAC-Poly aluminuim Chloride) والذي يستخدم في معالجة المياه العكرة واليسر. وكذلك هناك بلمرات أخرى من أملاح السيليكون. وتستخدم بعض أنواع الطفلة مثل البنتونيت كمرويات حيث تضاف في الشكل الجاف مباشرة إلى الماء عندئذ تتفتح حبيباتها إلى جسيمات كبيرة تحتضن الجسيمات العالقة المسببة للعكارة مكونة أجسام اكبر حجما يسهل ترسيبها.

ب – البلمرات العضوية : Organic polymers

البلمرات العضوية متوفرة فى أوزان جزيئيـــه مختلفـــة (كثافـــات مختلفـــة). البلمرات التي بها مجموعة متأينة مثل (Snlfonic Group / Amino Group) تســـمى البولي اليكتروليت الـــذي يمكـــن إن يكـــون كاتـــأيونى (Cationic) أو آن أيونـــى (Anionic) أو الغير ايونى (Nonionic) ومن أمثلـــة لـــهذه البلمـــرات العضويـــة الموضحة فى الجدول (٨).

وتستخدم البلمرات الغير أيونية فى المجال الحامضى، البلمرات الآن أيونية فى المجال القلوي والمتعادل والبلمرات الكاتأيونية تؤثر جيدا على المـــواد العضويـــة والهلامية. البلمرات من المركبات العضوية الأكثر شيوعا فى الاستخدام فى تنقيـــة مياه الشرب كمساعدات ترويب (Coagulant aids) هى البلمرات الكاتايونية موجبـــة الشحنة وهى بلمرات متآينـــة (Positively Charged Cationic Polyelectrolytes). وهذه البلمرات الموجبة تعمل على عدم ثبات المواد العالقة ومعادلة شحنتها الســـالبة وهى كذلك تمتز المواد الهلامية العالقة. البلمرات المستخدمة فى مياه الشرب لـــها وزن جزيئي أقل من مليون وهى تتأثر بالرقم الـــهيدروجيني والعســـر. البلمـــرات القابلة للذوبان فى الماء تتأين لتعطى الرقم الهيدروجيني المناسب للترويب بما يقلـــل من جرعة المروبات ويحسن نوعية المياه خلال تدفقها فى المرشـــحات وتضـــاف البلمرات (البولي اليكتروليت) مع جرعة المروب وتحدد جرعة المروبـــات طبقـــا لاختبارات القنينة (Jar Tests) وتوصيات المنتج.

جـ- برمنجنات البوتاسيوم :

هذه المادة مروب ضعيف ولكنه مطهر قوى عند أضافته إلى الماء يتحلل إلـــى ثاني أكسيد المنجنيز والأكسجين النشط ويعمل ثـــاني أكســـيد المنجنـــيز كمـــروب والأكسجين كمطهر ولإزالة اللون والرائحة وعند الاستخدام تكـــون الجرعـــة ١-٤ مليجرام / لتر.

٧- تعيين الجرعة المضافة من كيماويات الترويب

تحـــدد الجرعة المضافة من المروب طبقا لنوع مـــادة الـــترويب المســـتخدمة وكمية العكارة فى المياه ولون المياه والرقم الهيدروجيني ودرجة الحرارة وكذلـــك

زمن الخلط السريع والخلط البطيء لتكوين الزغبات (Floc's). عند زيادة العكـــارة فى الماء مع انخفاض درجة الحرارة يلزم زيادة الجرعة من المروبات كمـــا يلــزم ضبط الرقم الهيدروجيني للحصول على زغبات أفضل. وذلك لأن مـــروب الشـــبة (أيدر وكسيد الألومنيوم) يختفي في حالة انخفاض الرقم الهيدروجيني وعند زيادتـــه عن ٨,٥ فإنه يتآين إلى الألومنيات القابلة للذوبان فى الماء.

جدول (٨) أنواع البلمرات العضويه

Some Synthetic Ploymers		
Nonionic	Anionic	Cationic
$[-CH(CONH_2)-CH_2-]_n$ Polyacrylamide M.W. ≈ 10^6	$[-CH(COO^- Na^+)-CH_2-]_n$ Sodium polyacrylate M.W. ~ 10^6	$-CH_2-CH_2-NH_2-]_n$ Polyethylene imine M.W. = 600 to 100,000
$[-CH(OH)-CH_2-]_n$ Polyvinyl alcohol	$[-CH(C_6H_4SO_3^- Na^+)-CH_2-]_n$ Sodium polystyrene sulfonate	$[-CH-CH_2-CH-CH_2-]_n$ (ring: CH_2, CH_2, CH_2, N^+Cl^-, CH_3, CH_3) Polydiallyldimethyl-ammonium chloride ("Cat-Floc") M.W. = 10,000 to 100,000
$[-CH_2-CH_2-O]_n$ Polyethylene oxide		$[-CH(C_5H_4N^+H\ Br^-)-CH_2-]_n$ Polyvinylpyridinium bromide

ولتعيين افضل مروب للاستخدام لنوع معين من المياه العكرة والجرعة اللازمة وافضل رقم هيدروجيني فانه يتم عمل اختبارات معملية باستخدام أنواع مختلفة من كيماويات الترويب مع اختلاف الجرعات والرقم الهيدروجيني. حيث يمكن في بعض الحالات استخدام خليط من المروبات ومساعدات الترويب للحصول على أعلى كفاءة لترسيب والتخلص من المواد العالقة وإزالة المعادن الثقيلة المذابة والضارة بصحة الإنسان ولتكون التنقية طبقا لمعايير مياه الشرب وذلك كما هو موضح فى الجدول (٩).

والجرعات المناسبة عند الحاجة الى إضافة قلوي هي ٤٠-٥٠ ملجرام / لتر من الجير الحي أو ٦٠ -٧٠ مليجرام / لتر من الجير المطفئ وتضاف الصودا آس عند استخدام مروب الشبة فقط وليس مروب الحديدوز بجرعة ١٠٠ مليجرام / لتر. وتستخدم البلمرات الكاتايونية كما سبق توضيحه لتأينها وذوبانها في الماء وتوفير الرقم الهيدروجيني المناسب بما يقلل من جرعة المروبات وتحسين نوعية المياه وتدفقها خلال المرشحات. الجرعة العادية للبلمرات (البولى اليكتروليت) هي واحد جزء فى المليون. المياه قليلة العكارة لا تعطى كفاءة مناسبة عند استخدام المروبات فقط وذلك إذا انخفضت العكارة عن ١٠٠ جزء فى المليون ويحدث هذا عامة فى المجارى السطحية العزبة المناوبة آو في حالة السدة الشتوية. ولزيادة العكارة وزيادة كفاءة عمل المروبات تضاف جرعة من الطفلة ٣٥ مليجرام / لتر. الطفلة المناسبة هي الطفلة البنتونيت كما استخدمت بودرة الفحم المنشط الذي يحسن من المذاق والرائحة. وقد ثبت في كثير من الحالات الاستفادة بإضافة الرمل الناعم مع تحسين خصائصه بإضافة البولي اليكتروليت حيث يتم إضافتها قبل إضافة مادة الترويب كما قد تستخدم نسبة من الروبة (Sludge) المرسبة وتدويرها. تحدد الجرعة المناسبة من الروبات ومساعدة الترويب باستخدام جهاز اختبار القنينة وهذا الجهاز يتكون من ٤-٥ قنينة كل بسعة ١-٢ لتر شكل (١٣).

جدول (٩) المعالجة المؤثرة لإزالة الملوثات الغير عضوية

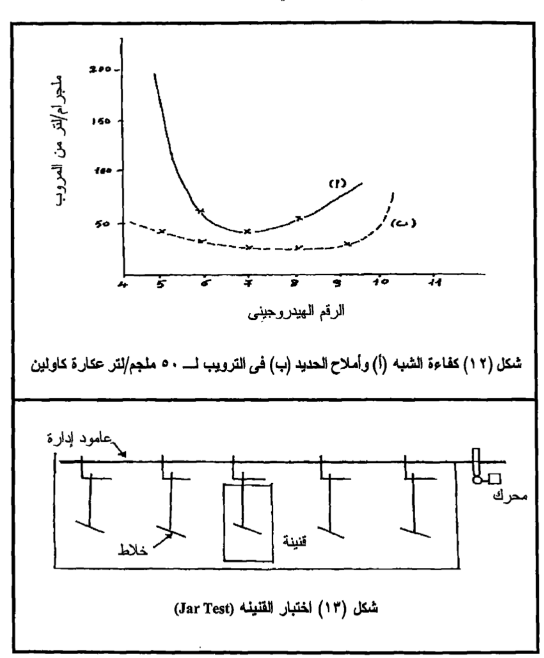
الملوثات من المعادن الذائبة	الترسيب بالمروبات لإزالتها
الزرنيخ الثلاثي As^{+3} . بعد أكسدته إلى خماسي قبل المعالجة	مروبات كبريتات الحديديك عند رقم هيدروجيني ٦-٨ مروب الشبة عند رقم هيدروجيني ٦-٧. عند إزالة العسر باستخدام الجير ومروب كبريتات الحديديك عند رقم هيدروجيني ٨
الزرنيخ الخماسي AS^{+5}	نفس المروبات المستخدمة لترسيب الزرنيخ الثلاثي بعد أكسدته
الباريوم Ba	إزالة العسر باستخدام الجير عند رقم هيدروجيني ١٠-١١ التبادل الايونى
الكادميوم Cd	مروب كبريتات الحديديك عند رقم هيدروجيني اكبر من ٨ إزالة العسر باستخدام الجير .
الكروم الثلاثي Cr^{+3}	مروب كبريتات الحديديك عند رقم هيدروجيني بين ٦-٩ أو مروب الشبة عند لرقم هيدروجيني بين ٧-٩ أو إزالة العسر باستخدام الجير .
الكروم السداسي cr^{+6}	مروب كبريتات الحديديك عند رقم هيدروجيني بين٧-٩,٥
الرصاص	مروب كبريتات الحديديك عند رقم هيدروجيني ٦-٩ أو مروب الشبة عند رقم هيدروجينى ٦-٩ أو إزالة العسر باستخدام الجير
الزئبق الغير عضوي الزئبق العضوي	مروب كبريتات الحديديك عند لرقم هيدروجيني ٧-٨ حبيبات الفحم المنشط
السيلينيوم الرباعي Se^{+4}	مروب كبريتات الحديديك عند رقم هيدروجيني ٧-٩
الفضة	باستخدام كبريتات الحديديك عند رقم هيدروجيني ٧-٩ أو الشبة عند رقم هيدروجيني ٦-٨ أو عند إزالة العسر باستخدام الجير .

يوضع في كل قنينة ذراع خلاط يدور بسرعات متغيرة بواسطة عامود إدارة واحد ومجموعة تروس. يوضع فى كل قنينة عينات متساوية حقيقية من المياه العكرة.

يحقن المروب فى كل قنينة بجرعـــات مختلفـة مثـال (١٠-٢٠-٣٠-٤٠- مليجرام / لتر) يتم تشغيل الخلاطات التي تعمل بعامود تشغيل واحد بسرعة عاليـة ٥٠-١٠٠ لفة فى الدقيقة لمدة ٠,٥ إلى ١ دقيقة ثم تخفض السرعة لتكـون ٢٠-٣٠ لفة فى الدقيقة لمدة ٢٠-٣٠ دقيقة ثم تترك العينات لمدة ٣٠-٦٠ دقيقـة لترسـب المواد العالقة. يتم اختبار العينات بالنسبة للعكارة واللون وتسجل اقل جرعـة مـن المروبات والتي تعطى نتائج جيدة لنقاء المياه وشفافيتها (من ٠,٥ الى ١ بمقيـاس نيفيلوميترى) والاختبار الأخر هو تحضير العينات مع ضبط الرقم الهيدروجيني في كل قنينة لتغطية المجال ٩،٨،٧،٦،٥ مع إضافة جرعة مروبات التي تم تحديدهـا مسبقا الى كل قنينة ثم يجرى الاختبار كما فى الخطوات السابقة. وتختبر العينـات ويحدد أفضل رقم هيدروجيني، ويمكن استخدام نفس الجهاز لأختبار كفاءة الأنـواع المختلفة من المروبات أو خليط منها في إزالة العكارة واللون كما يمكـن اختبـار إزالة المعادن الثقيلة عند جرعات مختلفة من الروبات ومجال هيدروجيني مختلـف كما هو موضح في الجدول (٩) ولكن توجد بعض المعادن الثقيلة الضارة بصحـة الإنسان والتى لإنزال بأي نوع من المروبات وهى السيلينييوم السداسـي التكـافؤ (Se^{+6}) والذي يزال بالتبادل الايونى او التناضح العكسي وكذلك كلا من الفلورايـد والنترات الذي يزال بالتبادل الايونى. ولتعظيم دور الجرعة كمروب يتم أثناء الخلط السريع حقن المروب بسرنجات تحتوى على المروب فى وقت واحد حيث تحقن كل قنينة بها ماء بجرعة مختلفة. بعد الترسيب يتم قياس عكارة الماء بأخذ عينات مـن الماء بواسطة سحاحة من اسفل سطح الماء فى الإناء مباشرة. كما يمكن كذلك اخـذ عينات فى توقيتات مختلفة لتعيين منحنى سرعة الترسيب مقـابل العكـارة. وأقـل عكارة متبقية تقابلها أقصى جرعة للمروب. كما إن سـرعة دوران الخـلاط فـى الدقيقة تمكن من معايرة متوسط التدرج فى السرعة وبذلك يمكن استخدام التجربـة فى تعيين طاقة الخلط المختلفة للخلط السريع والخلط البطـئ. ولتوضيـح كفـاءة المروب من الشبة أو أملاح الحديد فى إزالة العكارة طبقا للمجال الهيدروجيني كمـا هو موضح فى المنحنيات شكل (١٢).

فعند إضافة عكارة للماء من مادة النبتونيت وإضافـة مـروب مـن الشـبة ومروب آخر من أملاح الحديد بجرعة ٥٠ مليجرام / لتر لكل مروب على حـدة.

فان المنحنى (أ) فى الشكل (٢) يبين مجال الرقم الهيدروجيني لإزالة ٥٠ % من العكارة فى الماء عند استخدام مروب الشبة والمنحنى (ب) يبين نفس النسبة من الإزالة للعكارة عند استخدام مروب من أملاح الحديد وتبين النقط على المنحنى الجرعات اللازمة عند الرقم الهيدروجيني.



شكل (١٢) كفاءة الشبه (أ) وأملاح الحديد (ب) فى الترويب لـ ٥٠ ملجم/لتر عكارة كاولين

شكل (١٣) اختبار القنينه (Jar Test)

٨- أمثلة لتعيين الجرعة من المروبات ومساعدة الترويب :

أ - مثال (١)

محطة تنقية مياه الشرب ٣٥× ١٠ ^٦ لتر/اليوم. جرعة الشـــبة المســتهلكة ٢٠ مليجرام/لتر. إذا كانت قلــــوية الميــــاه تعادل ٤,٥ مليجرام / لتر من كربونـــات الكالسيوم. عين كمية الشبة والجير الحي المحتوى على ٨٠% أكسيد كالسيوم(Cao) المطلوب كل شهر لمحطة التنقية.

الحل : فى حالة استخدام الجير الحي.

كمية الشبة المطلوبة : =٢٠×٣٥×١٠^٦ /١٠^٦=٧٠٠ كيلو جرام فى اليوم

= ٠,٧ طن فى اليــوم = ٢١ طن فى الشهر.

بفرض محلول الشبة بتركيز ٥% أذن حجم المحلول اليومـــي=١٠٠×٠,٧/٥ = ١٤ متر مكعب . بفرض استخدام ثلاثة أحواض لخلط محلول الشبة إذن كل حوض يسع ٤,٧ متر مكعب.

أبعاد الحوض بسعة ٥ متر مكعب (أسطواني) هي قطره ١,٥متر ارتفـــاع ١,٥ لتعيين مساعدات الترويب يتم الاستعانة بالتفـــاعلات التاليـــة التـــي تحـــدث أثنـــاء المعالجة.

$$Al_2(SO_4)_3 . 14H_2O + 3Ca(HCO_3)_2 \longrightarrow 2AL(OH)_3 + 3Ca\,SO_4 + 14H_2O + 6CO_2$$

وحيث إن الوزن لجزيئي للشبة هو:

٢ × ٢٧ + ٣ (٣٢ + ٤ × ١٦) + ١٤ (٢ + ١٦) = ٥٩٤

الوزن الجزئي المكافئ من الجير الحي:

$$Ca\,CO_3 \longrightarrow CaO + CO_2$$

$$CaO + H_2O + CO_2 \longrightarrow Ca(HCO_3)_2$$

نظرا لأن الوزن الجزيئى للكربونات ($CaCO_3$) = ٤٠+١٢+٣×١٦=١٠٠.

والوزن الجزيئى للجير الحى (CaO) = ٤٠ + ١٦ = ٥٦.

من المعادلات السابقة والاوزان المكافئة فان القلوية اللازمة لوزن جزئي من الشبة هي ٣ وزن جزئي من بيكربونات الكالسيوم وهذه تعادل ٣وزن جزئي من كربونات الكالسيوم وهذه تعادل ٣ وزن جزئي من أكسيد الكالسيوم (الجير الحى).

.. القلوية اللازمة لـ ٥٩٤ جزئ من الشبة يقابلها ٣(٤٠+١٦) = ١٦٨ جزىء من الجير الحى.

.. كمية الجير الحى المكافئة لـ ٢٠ مليجرام / لتر من الشبة = ٢٠×١٦٨/٥٩٤ = ٥,٦٦ مليجرام / لتر

.. قلوية الماء ككربونات كالسيوم هي ٤,٥ مليجرام / لتر = ٤,٥×٥٦/١٠٠=٢,٥٢ مليجرام/لتر من أكسيد الكالسيوم .

.. كمية الكالسيوم المطلوب إضافتها هي = ٥,٦٦ –٢,٥٢=٣,١٤ مليجرام / لتر

ونظرا لأن الجير الحى به ٨٠ % أكسيد كالسيوم .

.. $\frac{100 \times 3.14}{80}$ = ٣,٩٥ مليجرام / لتر .

.. كمية الجير المطفى اللازم لمعالجة ٣٥×١٠^٦ لتر فى اليوم .

= ٣,٩٥×٣٥×١٠^٦ مليجرام / اليوم = ١١٣,٨٢٥ كيلو جرام / اليوم.

= ١١٣,٨٢٥ ×٣١ / ١٠٠٠ = ٣,٥٨٢ طن فى الشهر .

وفى حالة استخدام الصودا آش (Na_2CO_3):

وذلك حسب المعادلة الآتية:

$$2Al(OH)_3+3Na_2SO_4+3CO_2+H_2O \longrightarrow Al_2(SO_4)_3\ 14H_2O+ Na_2CO_3$$

. . الوزن المكافئ من الصودا آس الذي يقابله ٥٩٦ جزئ من الشبة = ٢ × ٢٣ + ١٢ + ٣ × ١٦ = ١٠٦جزئ من الصودا آس .

. . ٢٠ مليجرام / لتر من الشبة تكافئ ٢٠×١٠٦ /٥٩٤= ٣,٥ مليجرام / لتر من الصودا آس .

٣,٥ مليجرام / لتر صـــودا آس تكـــافئ ١٠٠×٣,٥/١٠٦ = ٣.٣ كربونـــات كالسيوم .

. . كمية الصودا آس اللازم أضافتها = ٤,٥-٣.٣ (١٠٦/١٠٠)

= ١,٢×١,٠٦= ١,٢٧٢ مليجرام / لتر .

= ١,٢٧٢×٣٥×١٠^٦ ×٣١ /١٠٠٠

= ١,٣٨ طن فى الشهر

ب- مثال (ب)

عين كمية كبريتات الحديدوز اللازمة فى اليـــوم لمعالجة ٤×١٠^٦ لـــتر فـــي اليوم إذا كان ١١ ملجرام / لتر من كبريتات الحديدوز تستهلك بالجير المطفئ فـــى حوض الترويب.

الحل :

كمية المياه المعالجة = ٤×١٠^٦ لتر فى اليوم.

كمية كبريتات الحديدوز = ١١×٤×١٠^٦ ملجرام / اليوم =١٦,٠٦ طـــن فـــى العام.

التفاعلات الكيميائية التي تحدث أثناء عملية المعالجة هي:

$$Fe\ SO_4\ 7H_2O + Ca\ (OH)_2 \longrightarrow Fe\ (OH)_2 + Ca\ SO_4 + 7H_2O$$

$$Ca\ O + H_2O \longrightarrow Ca(OH)_2$$

الوزن الجزيئى للكبريتات الحديدوز هو ٢٧٧,٨٥ تقريبا ٢٧٨

الوزن الجزيئى لأكسيد الكالسيوم هو ٥٦ .

من المعادلات السابقة فان الوزن الجزيئى من كبريتات الحديدوز تحتاج الـــــى وزن جزيئى من الجـــــير المطفـــى أي ٢٧٨ مليجـــرام مـــن الحديـــدوز تحتـــاج ٥٦/٢٧٨×١٦,٠٦ = ٣,٢٣

. . كمية الجير المطفى = ٣,٢٣ طن فى اليوم .

ملحوظة: الوزن الذرى للعناصر المستخدمة :

Fe = ٥٥,٨٥ ، S = ٣٢ ، O =١٦ ، H =١ ، Ca =٤٠ ، C =١٢ ، Al =٢٧

الباب الثالث

طرق ترسيب المواد الصلبة العالقة

الباب الثالث

طرق ترسيب المواد الصلبة العالقة (العكارة)

التخلص من المواد الصلبة العالقة (العكارة) تتم فى مرحلتين:

المرحلة الأولى: وتشمل حقن كيماويات الترويب وترسيب المواد الصلبة العالقة.

المرحلة الثانية : الترشيح لتنقية المياه من العكارة والتطهير.

وتتم المرحلة الأولى فى أربع عمليات متتالية أو متداخلة وهى:

بتجهيزات التغذية بكيماويات الترويب – الخلط السريع – الخلط البطئ – الترسيب

المرحلة الثانية: وهى الترشيح وتتم إما فى مرشحات رملية بطيئة أو سريعة أو الترشيح بضغط المياه.

القسم الأول

تجهيز الكيماويات – الخلط السريع – الخلط البطئ

المرحلة الأولى وتشمل إعداد كيماويات الترويب في الشكل الجاف أو المحلول ثم الخلط السريع للمروب مع المياه العكرة لتحقيق الانتشار السريع للمروب مع المياه العكرة والتلامس مع الأجسام العالقة كاملا فى جميع محتويات الماء ثم الخلط البطئ حيث يتم الالتصاق بين زغبات المروب والمواد الصلبة العالقة وتتكون زغبات كبيرة الحجم فى حوض المزج البطئ والتى ترسب ولذلك تسمى أحواض المزج البطئ بالمروقات (Clarifiers).

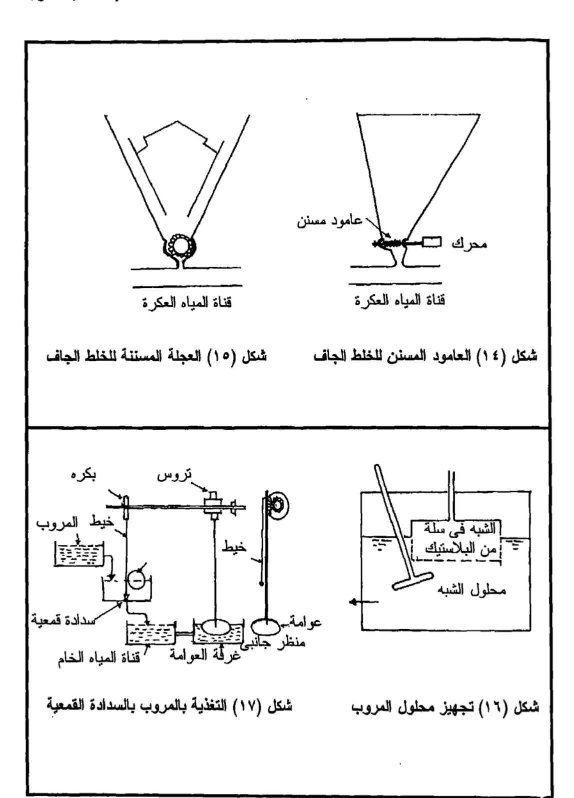
١- تجهيزات التغذية بكيماويات الترويب :

نظراً لأن الخلط السريع يهدف إلى الانتشار الفورى لجرعة الكيماويات خلال كتلة المياه لذلك يتم التقليب السريع للمياه مع حقن كيماويات الترويب فى اكثر المناطق اضطرابا (Turbulent) للتأكد من المزج السريع والمتجانس فى كتلة المياه ولأن تميؤ الماء المروب يتم فى ثوان قليلة كما أن عملية عدم ثبات المواد العالقة (Destabilization) نتيجة وجود شحنات كهربية مختلفة بين المروب الذى يكون زغبات موجبة الشحنة والعكارة التى تحمل شحنة سالبة تستغرق وقت صغير جداً. لذلك يوضع تجهيز الخلط السريع (Rapid Mixer) قرب مخازن الكيماويات وقريباً من حوض الخلط البطئ وتكون ماسورة التغذية للمروب قصيرة. قد تتم التغذية بالمروبات فى الشكل الجاف أو المحلول. التغذية الجافة سهلة وتتطلب حيز صغير جداً واقتصادية ولا تحدث تآكل ولكن ليس كل الكيماويات يمكن استخدامها فى

الشكل الجاف نظراً لأن بعضها قد يحدث انسداد. التغذية الجافة تتـم للمـروب ذو الحبيبات المنتظمة وثابت التركيب ولا يتميأ ولا يولد أبخرة ويظـل جـاف تحـت ظروف الضغط والحرارة المتغيرة ولهذا يمكن استخدام كبريتات الحديدوز والجـير المطفى فى الشكل الجاف.

أ- تجهيزات التغذية الجافة بكيماويات الترويب : شكل (١٤، ١٥)

تعمل هذه التجهيزات على أساس الإزاحة الحجمية والوزنية للكيماويات الجافـة حيث توضع الكيماويات فى القادوس القمعى ويجرى سحب المـادة الجافـة بفعـل دوران العامود المسنن شكل (١٤) أو العجلة المسننة شكل (١٥) فى قاع القـلادوس التى تدار بواسطة الفنتوى الموجود على ماسورة المياه العكرة التى تغـذى وحـدة المعالجة حيث يمكن زيادة سرعة الدوران آلياً مع زيادة تدفق المياه العكرة.



شكل (١٤) العامود المسنن للخلط الجاف

شكل (١٥) العجلة المسننة للخلط الجاف

شكل (١٦) تجهيز محلول المروب

شكل (١٧) التغذية بالمروب بالسدادة القمعية

ب- تجهيز محلول كيماويات الترويب : شكل (١٦)

يجهز المحلول المروب في سلة معدنية مثقبة أو صندوق معدني مثقب أو أي وعاء مثقب من البلاستيك (من البولي اثيلين أو البولي بروبلين) ثم رشه بالماء الساخن ثم يوضع المحلول في خزانات تسع لتشغيل وردية واحدة وذلك عند استخدام الشبة كمروب. يجهز محلول الشبة بتركيز ٤-٥ % ولا يقل التركيز عن ١,٥% قبل الحقن للمحلول سواء كان هذا المحلول معد مسبقا من مادة المروب الصلبة أو المحلول التجاري (بتركيز ٥٠%). كما يلزم الإشارة إلى إن محلول الشبة بتركيز اقل من ١% يجعل الشبة تكون زغبات الشبة مع مياه التخفيف قبل حقنها في كتلة المياه العكرة ، ولهذا فان تركيز محلول الشبة يجب ألا يقل عن ١,٥ % ويعد محلول الشبة كما في الشكل (١٦) والتغذية بالمحلول بالسداده القمعية شكل (١٧).

٣- طرق الخلط السريع : Rapid Mixing الأشكال (١٧ – ٣٥).

تتوقف الطريقة المستخدمة في الخلط السريع على حجم المحطة ومعدل التدفق ونوع مادة الترويب وتشمل هذه الطرق .

الخلط الميكانيكي وهو شائع الاستعمال.

الخلط الهيدروليكي و يتميز بالبساطة في التشغيل ولا يحتاج إلى طاقة ميكانيكية.

الخلط بالمضخات وهو لا يتأثر بمعدل التدفق.

الخلط في الخط In Line Blender ويشمل نوعين.

الخلط في الخط الميكانيكي وهو جيد وبسيط عند كل التدفقات.

الخلط في الخط الإستاتيكي حيث تتغير الطاقة مع معدل التدفق.

أ- الخلط الميكانيكى :

الخلط الميكانيكى السريع يتم فى حوض مجهز بأذرع الخلط وتكـــون ســرعة دوران أذرع الخلط من ٣٠٠ – ٦٠٠ لفة فى الدقيقة . ويراعى إن يصمم حـــوض الخلط ليوفر زمن تلامس (Contact Time) من ٢–٥ ثانية

ب- الخلط الهيدروليكى: شكل (١٨ ، ١٩ ، ٢٠ ، ٢٥) .

فى الخلط الهيدروليكى السريع تستخدم بتجهيزات مثـــل القنـــوات أو الغـــرف المجهزة بعوائق (Baffles) التى تحدث اضطرابات (Turbulence) لتدفقات الميـــاه شكل (١٨، ١٩) كما تستخدم الهدارات (weirs) والقفز الـــهيدروليكى (Hydraulic jumps) كما فى الأشكال (٢٠) كما يمكن عمل الخلط الهيدروليكى بتغذية المحلـــول عند جانب السحب للطلمبة مع التصميم الجيـــد المناســـب. الشـــكل (٢٥) الخلـــط الهيدروليكى بالحوائط الحائله.

جـ- الخلط بالمضخة على الخط : شكل (٢٢)

يشمل الخلط السريع بالمضخة على الخط بتجهيزات ميكانيكيـــة وهيدروليكيـــة وفى هذه الحالات يجب ألا يزيد معدل ضخ الماء بالطلمبة عن ١٠٠ ضعف حجـــم المحلول للمروب شكل (٢٢).

د- الخلط فى الخط: (In Line Blender)

ويشمل الخلط الميكانيكى فى الخط والخلط الاستاتيكى فى الخط.

الخلط الميكانيكى شكل (٢١، ٢٢) والخلط الإستاتيكى شكل (٢٤).

عند استخدام التغذية الميكانيكية لمحلول الشبة فى الخط فانه يمكن تغذية الشـــبة مباشرة لماسورة الطرد لمضخات الضغط العالي حيث يسحب المحلـــول بواســـطة مروحة تتبع لفاتها لفات عامود إدارة مضخة الضغط المنخفض فيكـــون تصـــرف الجرعة مناسب لتصرف ماسورة التغذية.

وهناك طريقة أخــرى موضحة فى الشكل (٢٣) فعنــد مــرور الميــاه فــى الماسورة (أ) إلى الاتجاه (ب) تدور مروحة صغيرة (ج) بواسطة مجموعة الحركـة المبينة فى الشكل فيدور عامود المضخة (د) التى تنقل المحلول فى الماسورة بمعدل يتوقف على سرعة المياه فى الماسورة (أ).

وفى جميع حالات الخلط السريع فان سرعة تدفق المياه فى وعاء الخلط تكــون ما بين ١٥-٣٠ سم / ث ولا تقل السرعة عــن ١٠ ســم / ث ولا تزيــد عــن ٧٥سم/ث حيث فى الحالة الأولى فان الزغبات ترسب وفى الحالة الثانيــة فإنــها تذوب وتختفي.

٣- تكوين الزغبات بالخلط البطئ : flocculation

الأشكال أرقام (٢٦ – ٣٠)

أ- رحلة المياه ما بين حوض الخلط السريع وحوض الخلط البطئ (التزغيب):

السرعة المناسبة للمياه من حوض الخلط السريع الى حوض الخلط البطئ هــى ٧٠سم/ث وقنوات التوزيع للمياه ما بين حوض الخلط السريع وحــوض الــتزغيب عادة تتناقص تدريجيا فى مساحة المقطع للمحافظة على ثبات سرعة المياه. وفــى المحطات الكبيرة فان مسافة انتقال المياه من أحواض الخلط السريع الى أحــواض الخلط البطئ قد تزيد عن ٤٠ متر. وتتدفق المياه بسرعة بطيئة خلال المواســير أو القنوات المجهزة بالهدارات المغمورة لتبطئ السرعة مع تجنب الاضطرابات فــى حركة المياه وكذلك ثبات كلا من المنسوب ومعدل التبطئ لسرعة المياه. الزغبــات التى تتكون بعد ٢ ثانية من إضافة المروب والخلط السريع تتفتت إذا كــان هنــاك اختلاف فى السرعة أو المنسوب فى مسار المياه من الخلط الســريع الــى الخلــط البطئ. الزغبات المفتتة قد لا ترسب بسرعة ولا يعاد تجميعها مما يتطلب ســرعة التغذية بالمروب ولذلك فان أقصى زغبات مناسبة للترسيب والترشيح هــى التــى تتكون فى ظروف الخفض المتدرج لسرعة المياه.

وهناك فكر آخر الذى يوصى بتوفير طاقة متغيرة ومفاجئة فى حوض التزغيب وهذه تتم فى شكل نبضات (Variable Energy or Pulsating Energy). وان كـــان هذا يخالف نظرية الطاقة (السرعة) المتدرجة فى التبطئ ولضمـــان نجـــاح فكـــرة النبضات المفاجئة (Pulsation) والتى ستناقش فى القسم الثالث من الباب الثالث فانه يلزم عمل التجارب النصف صناعية قبل التصميم لهذا النوع من أحواض التزغيب.

ب- التزغيب بالخلط البطئ : Flocculation :

فى حوض الخلط البطئ والمستمر تتكون الزغبات نتيجة التصاق الجســـيمات الصغيرة العالقة لتكوين جبيمات اكبر حجما يمكن إزالتها بالترسيب أو بالترشـــيح. إن بناء أقصى حجم من الزغبات والذى يتراوح ما بيـــن ٠,١ الـــى ٠,٢ مليمـــتر يتطلب الخلط البطئ لمدة ٢٠ق مع التدرج فى تقليل طاقة الخلـــط أي فـــى تقليـــل سرعة ازرع الخلط عند استخدام الخلط الميكانيكى أو باستخدام الحوائـــط الحائلـــة. ولذلك فان حوض التزغيب يجب إن يوفر الالتصاق أو الصدامـــات الهادئـــة بيـــن الأجسام العالقة وتتوقف عملية التزغيب على عدد هذه الصدامات بيـــن الزغبـــات الصغيرة فى وحدة الزمن. لذلك فعند تصميم حوض التزغيب لا يؤخذ فى الاعتبـــار التدرج فى السرعة (G – الطاقة) فقط بل كذلك زمن المكـــث Detention Time(T) والنتائج GT هو قياس لعدد الصدامات للجسم العـــالق وبالتـــالى لعمليـــة تكويـــن الزغبات.

والتدرج فى السرعة G = $\sqrt{\frac{MV}{P}}$

حيث :

G = التدرج فى السرعة (ثانية $^{-1}$)

P = الطاقة المنقولة للمياه (كيلو وات)

V = حجم المياه أو حجم حوض الخلط البطئ (التزغيب)

M = لزوجة الماء

اللزوجة للماء هى :

١,١٤ × ١٠$^{-٦}$م٢ / ث عند درجة حرارة ١٥° م

١ × ١٠$^{-٦}$م٢ / ث عند درجة حرارة ٢٠° م

٠,٩ × ١٠$^{-٦}$م٢ / ث عند درجة حرارة ٢٥° م

٠,٨ × ١٠$^{-٦}$م٢ / ث عند درجة حرارة ٣٠° م

القيم المثالية لقيم (GT) فى حوض الترغيب هى كالأتي :

$G\ sec^{-1}$ = من ٤٥ –٩٥

T sec = ١٢٠٠ – ١٨٠٠

GT = ٥٠٠٠٠ – ١٥٠٠٠٠

ولكل نوع من أحواض الترغيب يتم الاختيار بعناية لقيمة GT المناسبة وتكون عالية بما يوفر أفضل تكوين للزغبات بدون حدوث تفتت أو تشتت لهذه الزغبات بعد تكوينها. وكذلك يمكن تحسين الصدامات الداخلية للزغبات باستخدام كيماويات مساعدة مثل السيليكا المنشطة أو البولى اليكتروليت وهما من مساعدات الترويب كما أنه من المفضل توفر قوة قص مستمرة (Shear Force) لتبطئ السرعة فى كل مقطع الحوض ولهذا يقسم حوض الترغيب إلى غرف لمنع قصر الرحلة والتناقص فى الطاقة ولهذا توضع العوائق (Baffles) فى حوض الترغيب الهيدروليكى الكبير فقط والذى تزيد طاقته عن ٢٠٠٠٠ متر مكعب فى اليوم وتلغى فى الأحواض ذات الطاقة اقل من ذلك لتبسيط التصميم. وفى حالة عدم وجود تقسيمات فى الحوض يزداد زمن المكث عن ٢٠ دقيقة. واذا كان الحوض يعمل بالترغيب والترسيب معا فان الطاقة المستخدمة تكون اقل وزمن المكث للماء فى الحوض يكون من ١٨–٢٥ دقيقة. ويجب مراجعة حجم وكثافة الزغبات بالنسبة لعملية الترسيب والترشيح. الزغبات الكبيرة قد تكون قابلة للترسيب ولكنها غير مناسبة للترشيح المباشر والذى يتطلب عندئذ الغسيل العكسى للمرشح من إن إلى آخر. الزغبات

المناسبة للفصل بالترشيح المباشر (بدون الترسيب المسبق) هى الزغبات صغيرة الحجم وذات الكثافة العالية.

٤- أحواض المزج البطئ (التزغيب) : Flocculator

المزج البطئ لتكوين الزغبات يمكن إن يتم بالتجهيزات الميكانيكية أو بالطرق الهيدروليكية. المزج الهيدروليكى البطئ مناسب للمحطات الصغيرة والميكانيكى مناسب لكل المحطات الصغيرة والكبيرة.

أ- المزج الميكانيكى البطئ (التزغيب الميكانيكى) : Mechanical Flocculator

المزغبات الميكانيكية تتكون غالبا من الازرع والتى تدور بسرعة بطيئة جدا بمعدل ٢-٣ لفة فى الدقيقة. وأزرع التقليب قد تدور على عامود إدارة رأسي أو أفقي. المزغبات ذات عامود الإدارة الرأسى وأزرع التقليب العمودية عادة تكون مرتبطة بأحواض مربعة وأقصى أبعادلها هى ٦ متر × ٦ متر وعمق من ٣ – ٥ متر. المزغبات ذات الهيكل الأفقى وأذرع التقليب الأفقية عادة تكون طويلة ويتراوح الطول ما بين ١٠ – ٣٠ متر والعرض ما بين ٣-٥ متر والأبعاد الصغيرة هى المستخدمة عادة.

وتصمم الحوائط الحائلة فى أحواض التزغيب بالتقليب الميكانيكى البطئ لمنع قصر المسافة (Short Circuit)، وتكون مسافة الفتحات فى الحوائط الحائلة بما يسمح بسرعة تدفق للمياه من ٣٠-٤٥ سم/ث. وعادة فان أحواض التقليب الميكانيكى البطئ ذات أذرع التقليب الأفقية. ولذلك فان السرعة العالية قد لا تنتج الزغبات المناسبة للترسيب فى المروقات ذات أذرع التقليب العمودية مما يتطلب زيادة جرعة المروبات أو إضافة مساعدات الترويب (Coagulant Aids). أحواض الخلط البطئ ذات الأزرع العمودية تكون أجزاء الحركة بها غير مغمورة فى الماء وهى عادة اقل فى التكاليف وازرع التقليب الأفقية اكثر مناسبة للاستخدام فى حالة الترشيح المباشر والسرعة المناسبة لزراع التقليب هى من ٣٠-٧٥ سم /ث

وتصمم الهدارات لخروج المياه من حوض التقليب الميكانيكي بسرعة ٣٠ سم / ث أو بتوفير نسبة فتحات من ٣-٦% شكل (٢٩،٣٠).

ب- المزج الهيدروليكي البطئ (التزغيب الهيدروليكي) Hydraulic Flucculator: الأشكال (٢٦-٢٩)

التزغيب الهيدروليكي بسيط وفعال وخاصة في حالة ثبات التدفقات ويمكن توفير الطاقة للماء وقصر الرحلة باستخدام العوائق المعقدة (Maze Type) شكل (٢٦) أو باستخدام العوائق ذات التدفق المتقاطع شكل (٢٧). العوائق المعقدة تعطى نتائج جيدة عند سرعات ٢٠-٤٠ سم/ ث وقد يكون التزغيب جيد بسبب الاضطراب الذي يحدث نتيجة التغير في الاتجاه ١٨٠ درجة عند نهاية كل عائق. وفي المزغبات ذات العوائق الأفقية أشكال (٢٦،٢٧) فان السرعة المياه عموما هي من ١٠-٣٠ سم / ث وزمن المكث من ١٥-٢٠ ق، هذا النوع يناسب المحطات الصغيرة جدا. وتتوقف الكفاءة على عمق المياه في الحوض والذي يتراوح ما بين ٣-٥ متر لكل من حوض التزغيب والمروق بالإضافة إلى وجود ميل في قاع الحوض. وتجهز الأحواض ذات التدفق المتقاطع شكل (٢٧) بفتحات في قاع العوائق لأغراض النظافة بارتفاع ١٠-١٥ سم وبطول ٤٠-٦٠ سم.

المزغبات ذات التدفق الرأسي خلال الحارات المعدة بالعوائق الراسية تناسب المحطات المتوسطة والكبيرة وسرعة المياه فيها من ١٠-٢٠ سم /ث وزمن المكث من ١٠-٢٠ ق ويعد الحوض كذلك بتجهيزات لإزالة الرواسب شكل (٢٨).

جـ- المزغب الهيدروليكي ألا باما : Alabama flocculater شكل (٣١)

يتكون المزغب الهيدروليكي ألا باما من غرف منفصلة ملتصقة على التوالي حيث يتدفق المياه خلالها في اتجاهين ومن غرفة الى الغرفة التي تليها تدخل المياه اسفل كل عائق مجاور عند نهاية القاع خلال مخارج منحنية الى أعلى ولأحداث التزغيب المؤثر في كل غرفة فان المخارج توضع على عمق ٢,٥ متر اسفل منسوب المياه.

بيانات التصميم لمزغب ألا باما :

الطاقة العادية لكل غرفة من ٢٥ –٥٠ لتر/ث لكل متر مربع .

السرعة عند الانحناءات من ٤٠–٥٠ سم/ث .

طول الغرفة الواحدة (L) من٠,٧٥ – ١,٥ متر .

العرض (B) من ٠,٥ – ١,٢٥ متر .

العمق (H) من ٢,٥ – ٣,٥ متر .

زمن المكث (T) من ١٥–٢٥ ق .

والفقد فى الضغط عادة من ٠,٣٥ الى ٠,٥ متر لكل وحدة والتدرج فى السرعة عادة من ٤٠–٥٠ ثانية$^{-1}$

الجدول رقم (١٠) يوفر بيانات استرشادية لتصميم مزغب ألا باما.

مثال :

معدل التدفق (Q) = ١,٢ م^{٣}/ق، زمن المكث = ١٥ ق

الحل :

معدل التدفق ١,٢ م^{٣} / ق =٢٠ ل /ث

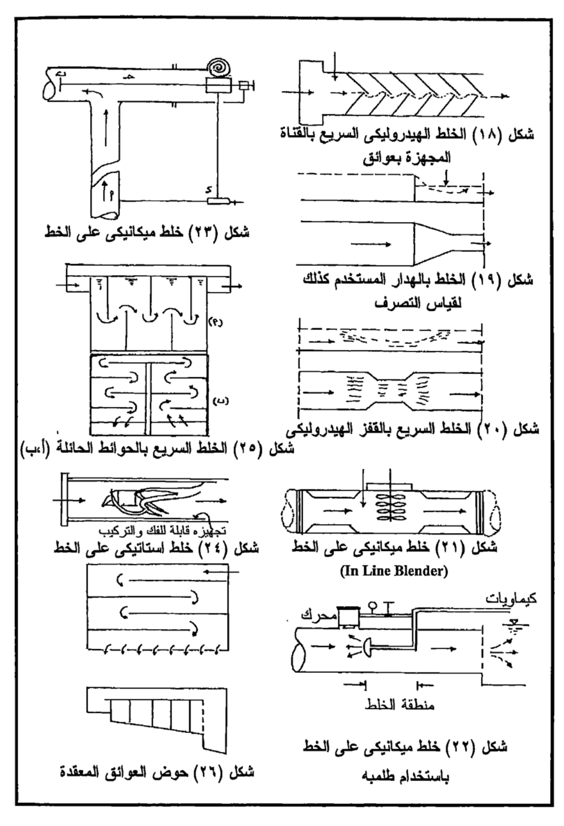
بما أن قطر الماسورة المنحنية ٢٥٠ مم (١٠") (D)

حجم الغرفة الواحدة ١,٣ م^{٣} (العرض B=٠,٦ متر، الطول L = ٠,٧٥ متر)

إجمالي الحجم المطلوب = معدل التدفق × زمن المكث

= ١,٢×١٥=١٨ م^{٣}

عدد الغرف = ١٨/ ١,٣ = ١٤ غرفة



شكل (١٨) الخلط الهيدروليكى السريع بالقناة المجهزة بعوائق

شكل (٢٣) خلط ميكانيكى على الخط

شكل (١٩) الخلط بالهدار المستخدم كذلك لقياس التصرف

شكل (٢٠) الخلط السريع بالقفز الهيدروليكى

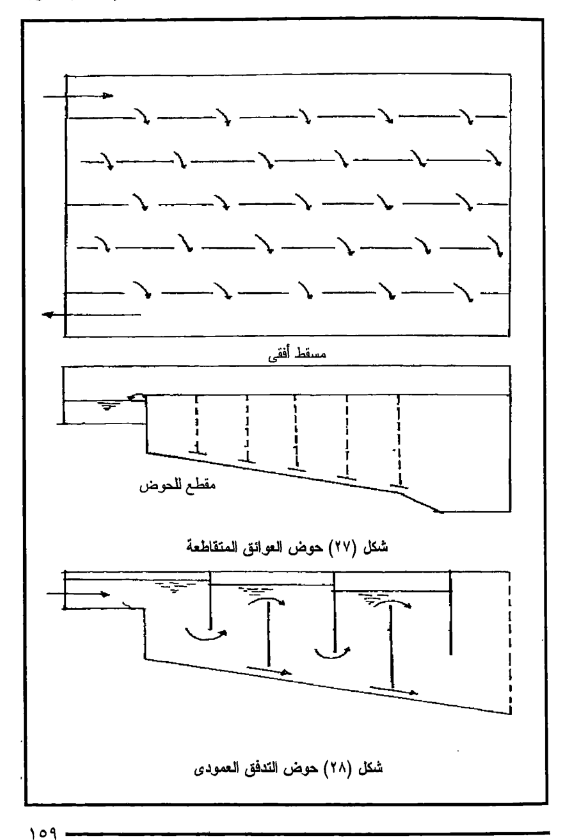
شكل (٢٥) الخلط السريع بالحوائط الحائلة (أ،ب)

شكل (٢٤) خلط استاتيكى على الخط

شكل (٢١) خلط ميكانيكى على الخط

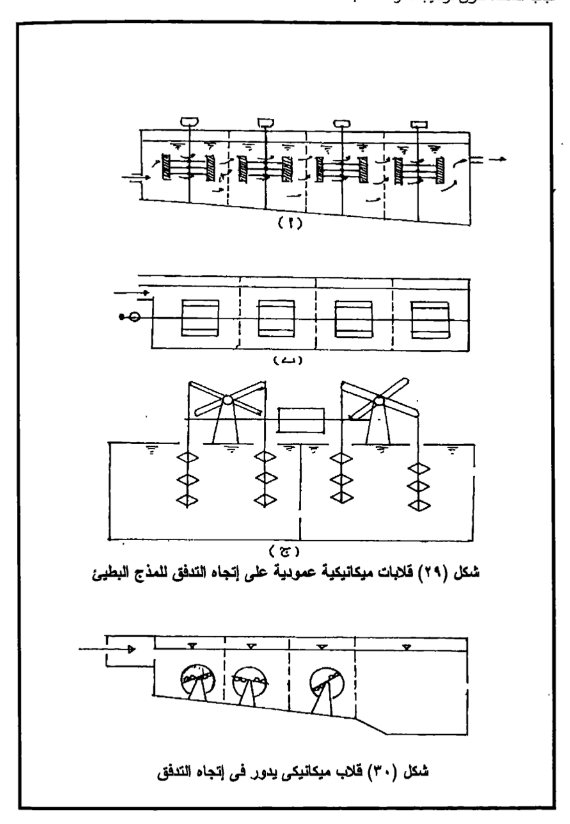
شكل (٢٢) خلط ميكانيكى على الخط باستخدام طلمبه

شكل (٢٦) حوض العوائق المعقدة



شكل (٢٧) حوض العوائق المتقاطعة

شكل (٢٨) حوض التدفق العمودى

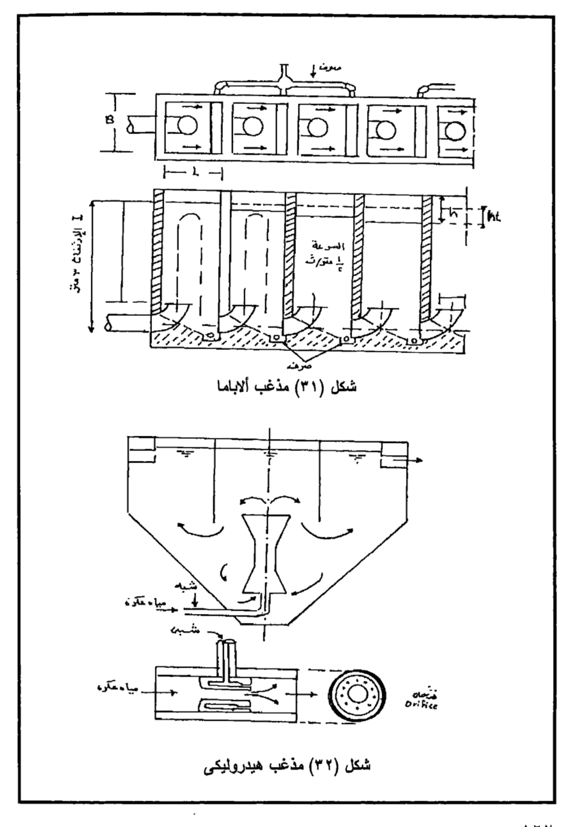


شكل (٢٩) قلابات ميكانيكية عمودية على إتجاه التدفق للمذج البطيئ

شكل (٣٠) قلاب ميكانيكى يدور فى إتجاه التدفق

جدول رقم (١٠) بيانات عملية استرشادية لتصميم مزغب الاباما

معدل التدفق Q لتر / ث	العرض B بالمتر	الطول L بالمتر	القطر D مم	مساحة الغرفة الواحدة م^{٢}	حجم الغرفة الواحدة م^{٣}
١٠	٠,٥	٠,٦	١٥٠	٠,٣٥	١,١
٢٠	٠.٦	٠,٧٥	٢٥٠	٠,٤٥	١,٣
٣٠	٠,٧	٠,٨٥	٣٠٠	٠,٦	١,٨
٤٠	٠,٨	١,٠٠	٣٥٠	٠,٨	٢,٤
٥٠	٠,٩	١,١	٣٥٠	١,٠٠	٣,٠٠
٦٠	١,٠٠	١,٢	٤٠٠	١,٢	٣,٦
٧٠	١,٠٥	١,٣٥	٤٥٠	١,٤	٤,٢
٨٠	١,١٥	١,٤	٤٥٠	١,٦	٤,٨
٩٠	١,٢	١,٥	٥٠٠	١,٨	٥,٤
١٠٠	١,٢٥	١,٦	٥٠٠	٢,٠٠	٦



شكل (٣١) مذغب ألاباما

شكل (٣٢) مذغب هيدروليكى

القسم الثانى

أحواض الترسيب

تعتبر عملية الترويق للمياه بترسيب الزغبات المتكونة بعد الترويب بالخلط البطئ من أهم العمليات فى تنقية مياه الشرب، فقد استخدمت أحواض الترسيب ذات التدفق المستمر مع الإزالة المستمرة للرواسب بالطرق الميكانيكية والتى سميت بالمروقات (Clarifiers) – الترويق الجيد للمياه المروية والذى يسبق الترشيح يمكن من الأداء الجيد للمرشحات وطول فترة عملها كما يقلل من مشاكل المرشحات مثل التشققات وتكوين الكرات الطينية. ويستخدم أحيانا الترسيب الأولى لتقليل (Plain Sedimentation) الأحمال من الرواسب قبل الخلط بكيماويات الترويب لإزالة نسبة كبيرة من المواد العالقة المسببة للون والمذاق والرائحة. أما الاستخدام الرئيسى لعملية الترسيب فى تنقية مياه الشرب فهو بعد عملية الترويب لإزالة الأجسام العالقة التى أصبحت أكثر قابلية للترسيب.أحواض الترسيب تتصف بالسهولة فى التشغيل والاستخدام القليل جدا للطاقة وهى أما أن تكون مستطيلة أو مستديرة أو ذات القاع القمعى أشكال (٣٣ – ٣٩).

١– أحواض الترسيب المستطيلة : شكل (٣٣)

وهذه الأحواض مستطيلة من المنظور الرأسى (Plan) وبها عدد كبير من الحوائط الحائلة (Baffle Walls). ومهمة الحوائط الحائلة هو تقليل سرعة المياه لزيادة زمن رحلة الجسم العالق. وهذه الأحواض مزودة بمداخل ومخارج ممتدة إلى

كل غرف الحوض. الأرضية بين الحوائط تكون مائلة فى اتجاه المنتصف على شكل قمع حيث توجد ماسورة سحب الروبة. ويجرى سحب الروبة تحت الضغط الهيدروستاتيكى وبتشغيل محبس سكنية.

٣- أحواض الترسيب المستديرة (الدائرية) :

وهذه لا تستخدم فقط فى الترسيب بل تستخدم فى الترسيب مع الترويق. وتقسم إلى نوعين حسب تدفق المياه بداخلها.

أ- أحواض الترسيب الدائرية ذات التدفق الأفقى : Radial Flow

يوضح الشكل (٣٤) مقطع فى حوض ترسيب مستدير حيث توضح ماسورة دخول المياه داخل صندوق عاكس. الصندوق العاكس يعكس المياه إلى أسفل ثم تخرج من الفتحات فى أجناب قاع الصندوق العاكس. تخرج المياه أفقيا من الصندوق العاكس فى اتجاه المحيط الخارجى للحوض. وهذا المحيط مجهز كله بمخرج للمياه. ترسب كل المواد العالقة على ميول القاع وتخرج المياه بعد التخلص من هذه المواد العالقة خلال المخرج. تزال الروبة (Sludge) بزحافة تدور باستمرار حول القاع، أقص سرعة لزراع الزحافة (Racking Arm) لا تزيد عن ٤,٥ متر فى الساعة

ب- أحواض الترسيب الدائرية ذات التدفق المحيطى :- Circunferential Flow

يبين الشكل (٣٥، ٣٦) مسقط رأسى لحوض الترسب الذى يعمل بالتدفق المحيطى. تدخل المياه إلى الحوض خلال ٢-٣ فتحة رأسية. يوجد ذراع دوار فى الحوض والذى يعمل على تحريك المياه على طول محيط الحوض، بينما المياه تتحرك بسرعة بطيئة جدا بما يسمح للأجسام العالقة أن ترسب و أن تزال من مخرج الروبة.

ج- أحواض الترسيب ذات القاع القمعى : (Hopper Bottom Tank)

وهى أحواض ذات تدفق رأسى شكل (٣٧). تدخل المياه من أعلا إلى صندوق عاكس (Deflector Box). وبعد التدفق إلى أسفل داخل الصندوق العاكس فإن

المياه تعكس اتجاهها وتتدفق إلى أعلا حول الصندوق العاكس. الأجسام العالقـــة ذا ت الكثافة اكبر من كثافة الماء لا تستطيع متابعة المياه أثنـــاء انعكـــاس اتجاهـــها وترسب فى القاع، ثم تزال خلال مخرج الروية تحت الضغـــط الهيدروســتاتيكى. توجد قنوات تجميع المياه الرائقة عند قمة الحوض.

وعموما فإن التغذية فى الأحواض المستديرة شكل (٣٨، ٣٩) يكون عادة مـــن المنتصف حيث يتم التدفق الخارجى فى اتجاه هدارات. وقاع الحوض يكون عـــادة قمعى بسيط (Slightly Conical) إلى بئر الروية فى المنتصف. يتم تنظـيف القـــاع وازالة الروية باستخدام قصابية لتوجيه الروية إلى البئر المركزى. التدفق المحيطـى جيد من الناحية النظرية نظرا للنقص التدريجى لسرعة المياه. كما أن طول المحيـط يسمح بطول هدار طافى وبالتالى قلة التحميل على الهدار. والـــهدارات يجـب أن تكون مجهزة للضبط (Adjustable Weirs) تنشأ بدقة شديدة لمنـــع التدفـق الغـير متجانس حـــول الحوض. وقد تكون كفاءة الترسيب أقل من المتوقـــع نظـــر لعـدم انتظام التدفق الأفقى ويوجد استثناء واحد حيث حوض التدفق مـــن المركـــز إلـــى المحيط. تستخدم المروقات الدائرية للتزغيب والترويب والترسيب فى أن واحد.

معظم أحواض الترسيب المستخدمة فى تنقية المياه لأغراض الشرب هـــى ذات التدفق الأفقى ويوجد استثناء واحد حيث حوض التدفق العلوى مع التصاق الأجســام الصلبة (Up flow SolidContact Basin) الذى يجمع الخلط بالكيماويات والـــتزغيب والترويب والترسيب بالتدفق العلوى فى وحدة واحدة ويستخدم أساسا فى إزالة عسر المياه بطريقة الصودا ـــ الجير(Soda lime process) ـــ وأحواض التدفق الأفقى قـد تكون مستطيلة أو مربعة أو دائرية (فى المسقط الرأسى). والمســتخدم عـــادة هـــو الأحواض المستطيلة والدائرية ذات التغذية من مركز الدائرة. ويتوقف اســتخدام أى منها على عدة اعتبارات منها الناحية الاقتصادية. وبالنسبة للمحطات الصغيرة فـــإن الأحواض المستطيلة ذات التدفق الأفقى اكثر ملاءمة فى الإنشاء شكل (٣٣) وقـــد ثبت أن الأحواض المستطيلة تعطى كفاءه الترسيب عالية خاصـــة فـــى المحطـــات الكبيرة. معظم أحواض الترسيب تنظف باستمرار بآليات ميكانيكية تختلـــف طبقـــا لنوع الحوض المستخدم.

٣- كفاءة الترسيب فى أحواض الترسيب المستطيلة :

يمكن أن يقسم حوض الترسيب إلى أربعة أقسام وهى منطقة الدخول ومنطقة الترسيب ومنطقة الخروج ومنطقة تجميع الرواسب (الروبة) الشكل رقم (٤٠).

* منطقة الدخول: تقوم بتوزيع المياه بالتساوى على مساحة المقطع للحوض وتوفر الانتقال الهادئ للمياه فى شكل تدفقات منتظمة فى منطقة الترسيب.
* منطقة الترسيب: وهذه توفر الحجم والمساحة السطحية لحدوث الترسيب.
* منطقة الخروج: توفر خروج المياه الرائعة بانتظام خلال كل العمق والعرض للحوض وتوفر الانتقال الهادى من منطقة الترسيب الى التدفق الخارجى من حوض الترسيب شكل (٤٠) يوضح المناطق الفرضيه الأربع لحوض الترسيب.
* منطقة تجميع الرواسب (الروبة) فى قاع الحوض.

الممر الذى يتبعه الجسم العالق فى حوض الترسيب يتوقف على سرعتين هما سرعة الإزاحة الأفقية للمياه وسرعة الترسيب للجسم العالق شكل (٤١) وفى الظروف المثالية فإن السرعة الأفقية للمياه وكل الأجسام العالقة بها تكون ثابتة. وتوزيع سرعات الترسيب يمكن تحديده بالتجربة التى سيتم الإشارة إليها.

كفاءة حوض الترسيب فى ترسيب المواد العالقة تحدد طبقا للقاعدة شكل (٤٢)

سرعة الترسيب فى الاتجاه الرأسى $\frac{Q}{BL} = So$

سرعة الترسيب فى الاتجاه الأفقى $\frac{Q}{BH} = Vo$

$$\frac{H}{L} = \frac{BH \times Q}{Q \times BL} = \frac{So}{Vo} \qquad \frac{H \times Vo}{L} = So$$

$$\frac{H}{T} = \frac{Q}{LB} = \frac{H \times Q}{L \times BH} = So \qquad \frac{LBH}{Q} = T$$

وباستخدام قاعدة سـرعة الترسيب فى الاتجاه الرأسى (So) لجسم فى زمن (T) لتصل إلى قاع الحوض (H) يمكن استخدام المعادلات الآتية :

$$\frac{Q}{LB} = So, \quad \frac{BLH}{Q} = T, \quad \frac{H}{T} So$$

حيث So = سرعة الترسيب متر فى الساعة.

T = زمن المكث فى الحوض بالساعة.

Q = التدفق م٣ فى الساعة.

H = عمق الحوض بالمتر.

B = عرض الحوض بالمتر.

L = طول الحوض بالمتر.

$So = \frac{Q}{LB}$ م٣ / م٢ فى الساعة = متر فى الساعة

وهذا يعنى أن كفاءة الترسيب تتوقف على النسبة بين معدل التدفق للمياه الداخلة والمساحة السطحية لحوض الترسيب. وهذا هو التحميل السطحى وهو مستقل عن عمق الحوض. لذلك فإن كفاءة الترسيب يمكن زيادتها بإنشاء حوض إضافى شكل (٤٣). عندئذ المساحة السطحية ستزداد كثيراً والتحميل السطحى سوف يقل.

حالة دخول المياه إلى منطقة الترسيب هى $\frac{L}{V_0} > \frac{H}{V_0}$

ولذلك فإن المياه يجب أن تظل فى منطقة الترسيب حتى وصول جميع المواد العالقة إلى منطقة تجمع الرواسب. وهذا هو زمن المكث للمياه فى الحوض

(Detention Time) والذى يعادل سعت (حجم) الحوض على معدل التدفق. زمن المكث فى الحوض يجب أن يزيد عن التصميمى النظرى وهو يتراوح ما بين ٢-٤ ساعة فى حالة التنظيف الميكانيكى، ٦-٨ ساعة فى حالة الترسيب العادى.

٤- إختبار الترسيب :

لتحديد بيانات منطقة الترسيب أو الترويق للأجسام العالقة الحرة (Discrete) أو الزغبات المروبة تستخدم عدة طرق لقياس معدل رسوب الجسم العالق ومن بين هذه الطرق استخدام الإسطوانة الطويلة أو القصيرة. فإذا كانت الأجسام العالقة من الزغبات المروبة وأنها تلتصق ببعضها بسهولة عند الترسيب فإن الإسطوانة الطويلة تعطى نتائج خاطئة حيث تظهر المياه أكثر نقاءاً فى العينات المأخوذة من الصنابير السفلى (أى أن النقاء يتحسن عند سرعة الترسيب العالية). وفى هذه الحالة فإن الوقت فقط هو المتغير الوحيد فى النقاء. ولذلك يوصى بعمل الإختبار البسيط لزمن المكث.

فى طريقة الإختبار تستخدم اسطوانة من البلاستيك الشفاف بقطر حوالى ٢٠سم وإرتفاع ٢ متر وتزود بصنابير لسحب العينات المختبرة كل ٢٠ - ٣٠ سم. تملأ الإسطوانة وهى فى الوضع الرأسى بعينة ممثلة للمياه العالق بها أجسام صلبة أو المروبة المطلوب إختيارها. وعلى فترات زمنية تسحب عينة حوالى ١٠٠سم^{٣} من الصنابير بالتتالى مع البدء بأعلى صنبور. والفترة الزمنية المناسبة هى ٣٠ ق وتكون نتائج العينات الأخيرة بعد زمن مكث ٢ ساعة. ويتم إختبارها بما يمكن حوالى أربع عينات تحقق الهدف من إزالة المواد العالقة. وهذه التجربة سوف تظهر أثر عامل الوقت فى الترويق. يتم تحليل العينات بالنسبة لتركيز المواد الصلبة العالقة بأى طريقة مناسبة مثل الترشيح فى بوتقة الترشيح (Gouache Crucible) أو بالطرد المركزى فى أنبوبة مدرجة.

٥- التحميل السطحى وأبعاد حوض الترسيب :

عند الترسيب الأولى للمياه العكرة قبل الترويب فإن التحميل السطحى عموماً يكون من ٠,١ إلى ١ متر فى الساعة. ولكن بالنسبة لأحواض الترسيب للمياه المعالجة بالمروبات يزاد التحميل السطحى ليكون من ١-٣ متر فى الساعة. وفى كلا الحالتين كلما قل التحميل السطحى كلما تحسنت التنقية للمياه وقلت العكارة كثيراً. وعند الأخذ فى الإعتبار أهمية تجنب قصر الرحلة (Short Circuit) وكذلك إحتمالات سحب الرواسب بواسطة تدفقات المياه (Scouring) عند قاع الحوض. ولتقليل هذه السلبيات إلى أدنى حد ممكن فإن حوض الترسيب لا يكون ضحلاً وأن عمقه لا يقل عن ٢ متر وأن النسبة ما بين الطول إلى العرض تكون من ٣ إلى ٨. والسرعة الأفقية للمياه تكون من ٤ إلى ٣٦ متر فى الساعة (بمتوسط ١٠ متر فى الساعة) وأحواض الترسيب ذات عمق ٢ متر أو أكثر يمكن أن تجهز بالمعدات الميكانيكية اللازمة لإزالة الروبة أما فى حالة الإنشاءات الصغيرة فإنه يفضل الإزالة اليدوية للرواسب والتى تحدث على فترات من أسبوع إلى عدة أسابيع. وقاع الحوض يجب أن يستوعب الروبة المتجمعة خلال الفترة الزمنية بين توقيتات التنظيف.

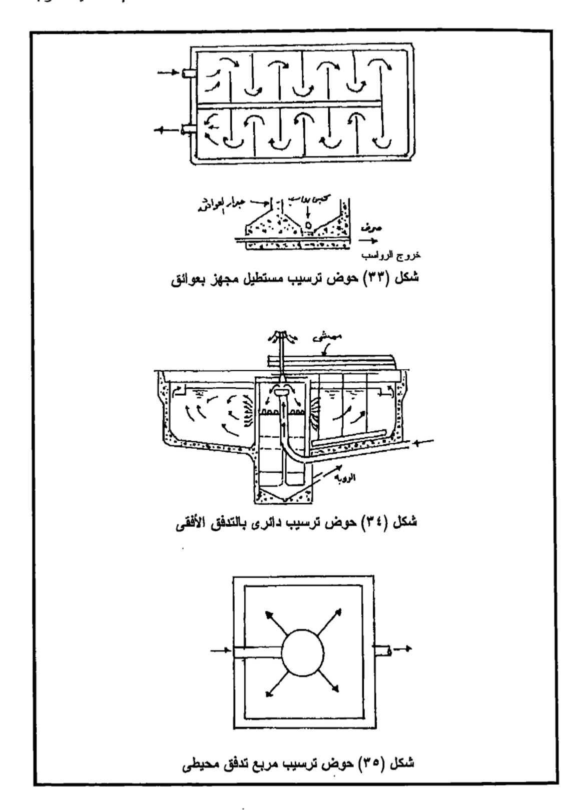
٦- المداخل والمخارج لحوض الترسيب : شكل (٤٤-٤٥)

فى حوض الترسيب يجب توفير تنظيم منفصل لدخول المياه لضمان التوزيع المتساوى للمياه على كل العمق والطول لحوض الترسيب. ويمكن تحقيق ذلك باستخدام تصميمات متعددة منها ما هو موضح بالشكل (٤٢) وفى حالة القناة على كل عرض الحوض والتى بها عدد كبير من الفتحات الصغيرة فى القاع لتدخل منها المياه إلى منطقة الترسيب. ولتنظيم توزيع المياه الداخلة تكون الفواصل بين الفتحات الصغيرة قريبة من بعضها بمسافة لا تقل عن ٠,٥ متر والقطر من ٣ - ٥ سم حتى لا يحدث انسداد. وتكون قناة المدخل ذات مساحة مقطع ضعف مساحة الفتحات. وعادة فإن المياه تخرج من الحوض خلال هدارات. أما منطقة الدخول إلى الحوض فتكون حوائط حائلة (Baffles). الحائط الحائل هو الذى تمر المياه من أسفله وتكون فتحة دخول المياه إما مستمرة ما أمكن أسفل الحائط أو على شكل

عقود بقاع الحوض. أما الهدار فهو حائط أقل قليلاً فى الإرتفاع من منسوب المياه التى تمر فيه. يصمم الهدار لتحقيق معدل تصرف ثابت ويمكن زيادة طول الهدار بالجوانب أو تركيب مجرى معلق. وعند سحب المياه الرائقه فوق الهدارات المنخفضة يراعى الوضع المناسب.

لقمة الهدار لتجنب حيودها عن الأفقى لضمان السحب المنتظم للمياه. تصنع قمة الهدار من شرائط معدنية (صلب مقاوم أو ألومنيوم) مثبته بمسامير على الحائط الخرسانى للهدار. وقمة هذه الشرائط ليست مستقيمة بل بها فتحات بفواصل. والبديل الآخر هو الفتحات فى حوضى الترسيب ذات مساحة أصغر من فتحات دخول المياه نظراً لقلة المواد العالقة ولضمان عدم انسدادها. توضع الهدارات على مسافات متساوية من منتصف الحوض. وتصمم قنوات تلقى المياه الرائق لتغطية من ٣/١ إلى ٢/١ الحوض وتوضع لاستقبال المياه من نهاية سطح التدفقات عند نهاية الحوض. وفى حالة سحب الروبة بالسلاسل (Chain Drag) توضع الهدارات بطول عرض الحوض. أما فى حالة استخدام القصابيات التى تعمل بالشفط أو بالأذرع فإن أحواض الهدارات توضع طولى كالهدارات الإصبعية المحملة على بغال تحميل.

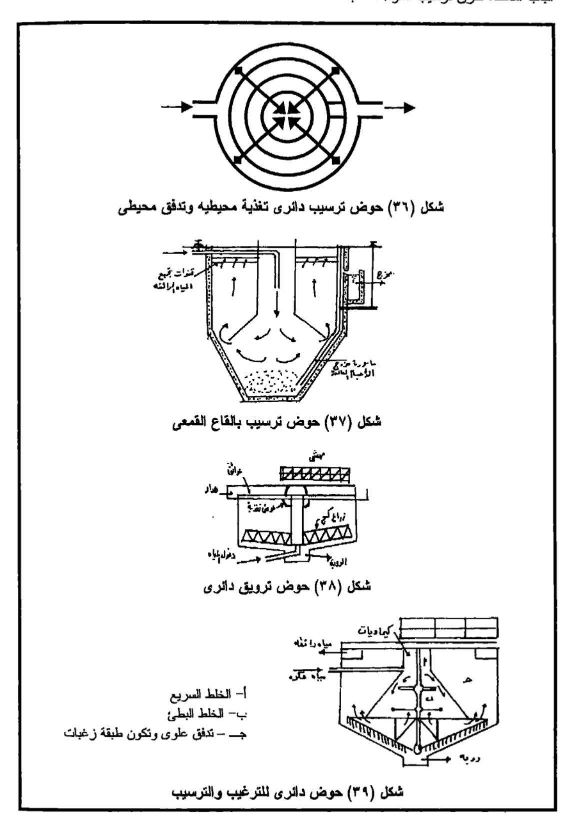
وقاع حوض الترسيب يختلف فى الشكل إذ يكون بانحدار بين ١٠/١ الى ٢٠/١ فى جميع الطول عندئذ يفضل ان يكون مخرج الرواسب عند الجهة التى تدخل منها المياه وليس عند جهة مخرج المياه لتجنب تحريك الرواسب فى منتصف الحوض إذا كان انحدار القاع فى الجهتين بما يوفر فى حجم الحوض. كما يجهز الحوض بماسورة فائض للمحافظة على منسوب المياه فى الحوض. وفى حالة تنفيذ المداخل والمخارج ومنطقة تجميع الرواسب بطريقة صحيحة فان كفاءة حوض الترسيب ترتفع نظرا لعدم الاضطراب فى منطقة الترسيب وان كان فى كثير من أحواض الترسيب تحدث إزاحة بالتدفقات خلال منطقة الترسيب نتيجة لقصر رحلة هذه التدفقات. كما قد يحدث اضطراب او نحر بما يترتب عليه حمل الرواسب الى الحائط البعيد ثم الى مخرج المياه. ولتجنب ذلك فان المياه المروبة تدخل حوض



شكل (٣٣) حوض ترسيب مستطيل مجهز بعوائق

شكل (٣٤) حوض ترسيب دائرى بالتدفق الأفقى

شكل (٣٥) حوض ترسيب مربع تدفق محيطى

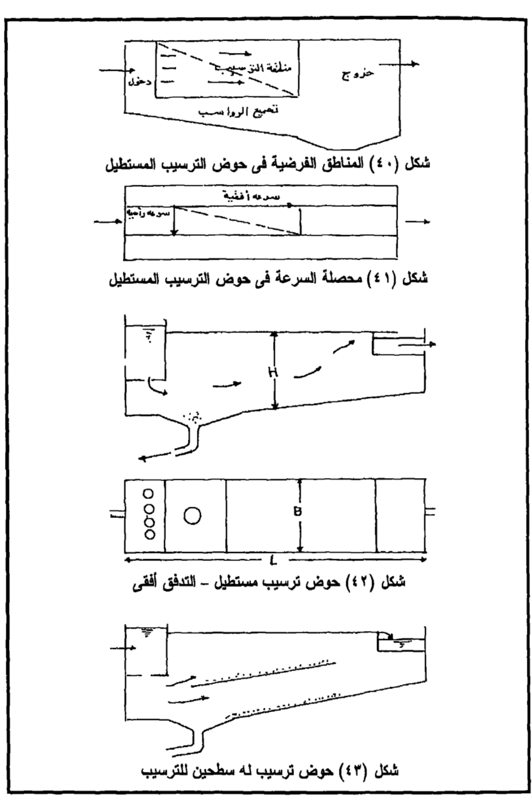


شكل (٣٦) حوض ترسيب دائرى تغذية محيطيه وتدفق محيطى

شكل (٣٧) حوض ترسيب بالقاع القمعى

شكل (٣٨) حوض ترويق دائرى

شكل (٣٩) حوض دائرى للترغيب والترسيب

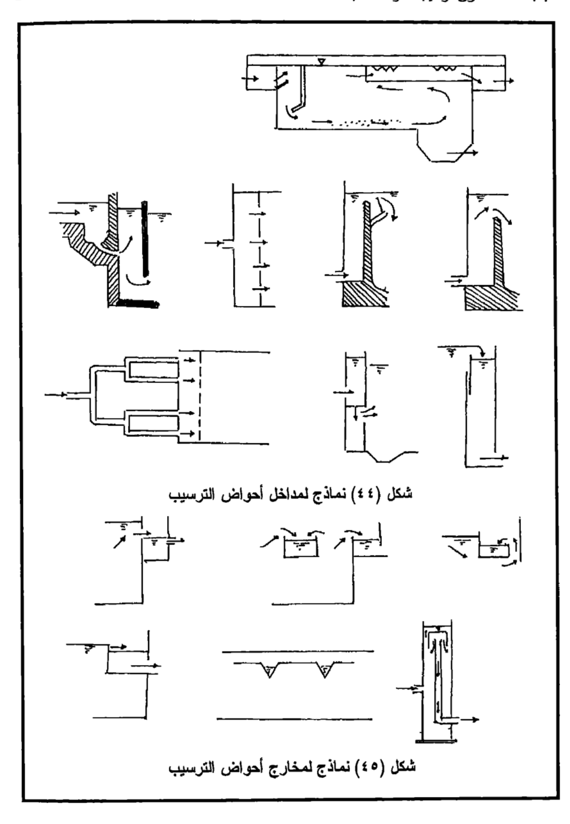


شكل (٤٠) المناطق الفرضية فى حوض الترسيب المستطيل

شكل (٤١) محصلة السرعة فى حوض الترسيب المستطيل

شكل (٤٢) حوض ترسيب مستطيل - التدفق أفقى

شكل (٤٣) حوض ترسيب له سطحين للترسيب



شكل (٤٤) نماذج لمداخل أحواض الترسيب

شكل (٤٥) نماذج لمخارج أحواض الترسيب

الترسيب من مدخل منفصل حيث تقسم المياه بالتساوى على طول عرض وعمق الحوض وبالمثل فى نهاية الحوض يصمم المخرج لتجميع المياه الرائقة بانتظام وتزال بانتظام الرواسب المتجمعة فى قاع الحوض شكل (٣٣ – ٣٩) يوضح أشكال التدفق فى بعض أحواض الترسيب.

٧- اثر خواص المياه على تصميم أحواض الترسيب :

خواص كثيرة للمياه والمواد العالقة تؤثر على كفاءة الترسيب بما فى ذلك درجة الحرارة وكثافة المواد العالقة وحجم وشكل هذه الأجسام وقد ثبت ان درجة حرارة الماء ذات تأثير كبير على عملية الترسيب اكثر من الكثافة النوعية. ذلك لان سرعة الترسيب تزداد بانخفاض اللزوجة حيث تنخفض لزوجة الماء مع ارتفاع درجة الحرارة. لذلك يلزم أن يتم التصميم مع الأخذ فى الاعتبار أدنى درجة حرارة للمياه الباردة عن الدافئة كما يلاحظ على الجانب الأخر انه كلما ارتفعت درجة حرارة المياه الداخلة فإنها تطفو على السطح بما يقلل من زمن الرحلة وعدم كفاءة الترسيب. وسرعة الترسيب للجسم العالق تزداد مع زيادة الكثافة النوعية للأجسام العالقة فى المجارى السطحية ذات كثافات مختلفة مثل الرمل ٢,٦٥ و ١,٠٣ للزغبات المتكونة من المواد العضوية والطفلة المحتوية على ٩٥% ماء، من ١,٠٢ إلى ١,١ للزغبات المتكونة من استخدام المروبات بالشبة. أو أملاح الحديد. وهذه القيمة قد تزداد كثيرا فى وجود الطفلة المحتوية على الرمال والكثافة النوعية لكربونات الكالسيوم أثناء عملية إزالة العسر تصل الى ١,٢. العكارة على أسطح المياه المحتوية على الطحالب هى نتيجة سقوط أشعة الشمس ونشاط الزغبات الطحلبية نتيجة تفاعلات غازية تسبب ارتفاع زغبات الطحالب على السطح بما يحدث عكارة نهارا ونقاء الماء ليلا وفى مثل هذه الحالات يتم تغطية سطح أحواض الترسيب.

٨- اعتبارات تصميه : لأحواض الترسيب :

معدل التحميل السطحى للترسيب الاولى ما بين ١٠-٢٤ م^{٣} /م^{٢} فى اليوم وللمياه المعالجة بالمروبات يكون ما بين ٢٠ – ٤٠ م^{٣} / م^{٢} فى اليوم

* مدة المكث للمياه فى الحوض من ٢–٤ ساعة وتؤكد بالتجارب المعملية أو النصف صناعية أو الحالات المماثلة الناجحة.
* السرعة الأفقية للمياه ١٥ سم / ق (١٠ متر فى الساعة).
* الأحواض المستطيلة لا يزيد طولها عن ٣٠ متر وتكون نسبة الطول إلى العرض من ٣ – ٨.
* الأحواض المستديرة يفضل ألا يزيد القطر عن ٤٠ متر.
* معدل خروج المياه على هدار المخرج لا يزيد عن ٤٥٠ م٣ / م٢ فى اليوم.
* عند استخدام هدارات على شكل حرف V يكون عمقها ٥سم والفواصل بينهما ٨ – ١٥ سم.
* كما يؤثر فى تحديد أسس التصميم نوعية المرشحات وكفاءتها التى تلى أحواض الترسيب.
* يراعى ألا يقل عدد أحواض الترسيب عن حوضين للمحافظة على استمرار الإنتاج فى حالات التوقف للصيانة والإصلاح.

٩- أمثلة استرشادية لتصميم أحواض الترسيب :

أ- المثال الأول :

مدينة تعدادها المستقبلى ١٠٠,٠٠٠ نسمة، متوسط استهلاك الفرد فى اليوم ١٠٠ لتر وأقصى استهلاك للفرد فى اليوم ١٢٠ لتر. بفرض التحميل السطحى ٣٠م^{٣}/ م^{٢}/ اليوم طبقا لحالات مماثلة.

∴ التصرف اليومى للمحطة = ١٠٠,٠٠٠ × ١٢٠/١٠٠٠=١٢٠٠٠م^{٣}/ اليوم =٥٠٠م^{٣} /الساعة.

المساحة السطحية لأحواض الترسيب = ١٢٠٠٠ / ٣٠ = ٤٠٠ متر م٢.

بفرض طول الحوض ٢٠ متر وعرضه ٥ متر

∴ عدد الأحواض = ٤

بفرض مدة البقاء فى الحوض ٣ ساعات يكون حجم الاحواض = ٤٠٠ × ٣ = ١٢٠٠م^{3}

عمق الحوض = الحجم (١٢٠٠) / المساحة (٤٠٠) = ٣ متر وفى هذه الحالة يلزم إنشاء خمسة أحواض لتوفير حوض زيادة لمواجهة مشاكل الصيانة والإصلاح.

ولحساب طاقة الحوض فى احتواء الرواسب.

على أساس معدل التدفق ٥٠٠ م^{3} / الساعة لكل حوض ١٢٥ م^{3} / الساعة.

السرعة الأفقية للمياه فى الحوض = ١٢٥/ ٥×٣ = ٨,٣ متر /الساعة =٨,٣×١٠٠/٦٠=١٣,٩ سم / ق أى ان سرعة المياه فى حدود التصميم.

وبفرض ان المياه تحتوى على مواد عالقة ١٠٠ مليجرام / لتر وان نسبة الإزالة بالترسيب ٩٠% عندئذ فان كمية المواد المحتجزة فى حوض الترسيب هى ٩٠ مليجرام لكل متر مكعب من المياه.

مع تحميل سطحى ٣٠م^{3}/م^{2} فى اليوم = ١,٢٥م^{2} فى الساعة وهذا يعنى تراكم ١,٢٥ ×٩٠ =١١٢,٥ جرام /م^{2} /الساعة.

اى ان الروبة المحتوية على مواد جافة ٣% تعادل ١١٢,٥ / ٠,٠٣= ٣٣٧٥سم^{3} / م^{2} / ساعة تقريبا أى سمك ٠,٣٤ سم فى الساعة وعند نهاية الميول فى قاع الحوض فان الرواسب تتراكم بسرعة تصل إلى حوالى ٠,٥سم فى الساعة.

والتراكمات بسمك ٠,٥ متر تتطلب ٠,٥ × ٢٤ ساعة × ٤ يوم = ٠,٤٨ متر أو ٠,٥ ×١٠٠ساعة = ٠,٥ متر أى أنه يلزم أربع أيام أو ١٠٠ ساعة بين فترات النظافة اليدوية فى حالة استخدامها.

ب- المثال الثانى:

تجمع سكنى احتياجاته من مياه الشرب ٩×١٠^{6} لتر فى اليوم. حجم حوض الترسيب المناسب مزود بإزالة ميكانيكية للروبة . يفترض أن سرعة التدفق فى حوض الترسيب هى ٢٢ سم / الدقيقة وأن زمن المكث ٨ ساعة.

الحل :

كمية المياه اللازمة فى ٨ ساعات = ٩×١٠^{6}× ٢٤/٨ = ٣٠٠٠ متر مكعب أى أن طاقة حوض الترسيب هى ٣٠٠٠ متر مكعب.

∴ طول الحوض بالمتر = سرعة المياة بالساعة × زمن المكث بالساعة.

سرعة المياه فى الحوض ٢٢ سم / ق = ٠,٢٢ متر فى الدقيقة.

طول الحوض = سرعة التدفق × زمن المكث =٠.٢٢×(٨×٦٠)=١٠٥,٦ = ١٠٦متر.
مساحة مقطع الحوض = سعت الحوض/طول الحوض=٣٠٠٠/١٠٦=٢٨,٣ متر مربع.
بفرض عمق الحوض ٣,٥ متر فإن عرض الحوض = ٢٨,٣ / ٣,٥ = ٨,١ متر.
وبفرض عمق إضافى ٠,٥ متر.

∴ العمق الكلى للحوض ٤ متر.

∴ أبعاد الحوض هى ١٠٦ × ٨,١ × ٤ متر.

يمكن تقسيم الطول إلى جزئين أو ثلاثة طبقاً لشـكل المسـاحة المتاحـة مـن الأرض.

جـ- المثال الثالث :

صمم حوض ترسيب دائرى مجهز ميكانيكياً لإزالة الروبة وبطاقـة إنتاجيـة ٤,٢×١٠٦ مليون لتر فى اليوم. زمن المكث فى الحوض ٤,٥ ساعة وبفرض عمـق الحوض ٣,٣ متر.

الحـل :

كمية المياه فى حوض الترسيب عند زمن مكث ٤,٥ ساعة = ٤,٢×١٠٦×٤,٥ /٢٤ = ٧٩٠ متر مكعب

∴ سعت حوض الترسيب (٧٩٠م٣) = مسطح الحوض × عمق الحوض (٣,٣متر).

∴ مسطح الحوض = ٧٩٠ / ٣.٣ = ٢٣٩م٢ = ط نق٢ = ٣,١٤ × نق٢.

∴ نق = $\sqrt{\frac{239}{3.14}}$ = ٨,٤٣ متر.

∴ قطر الحوض حوالى ١٧متر.

وبفرض٠,٢ متر إضافى.

∴ إذاً حجم حوض الترسيب هو: القطر ١٧متر والعمق ٣,٥ متر .

د- المثال الرابع :

إذا كان حجم الحـــوض المستطيل لتنقية المياه بمعدل ٢,٥ × ١٠^{٦} لـــتر فـــى اليوم هو ١٧,٥ × ٥,٥ × ٣,٥.

وبفرض الأجسام العالقة ٨٠ جزء فى المليون بكثافة نوعية (٢). حدد الآتى:

- . معدل تدفق المياه خلال حوض الترسيب.
- . ترسيب الروبة فى الحوض.
- . معدل سحب المياه .

الحـــل :

معدل التدفق :

بفرض ٠,٥ متر هو العمق الإضافى

∴ أبعاد الحوض هى ١٧,٥×٥.٥×٣ = ٢٨٨,٧٥ متر مكعب .

كمية المياه التى تتدفـــق خـــلال الحـــوض = ٢,٥×١٠^{٦} / ٢٤×١٠^{٣}=١٠٤,١م^{٣} فـــى الساعة.

. معدل تدفق المياه خلال الحوض = التصرف / مساحة المقطـــــع = ١٠٤,١/٥.٥×٣ = ٦,٣ متر فى الساعة = ٦,٣ × ١٠٠/٦٠= ١٠,٥ سم / ق.

. زمن المكث = سعت الحوض / التصرف = ٢٨٨,٧٥/١٠٤,١ = ٢,٧٧٤ ساعة.

. لتعيين كمية المواد الصلبة العالقة.

المواد الصلبة العالقة = ٢,٥×١٠^{٦}×٨٠/١٠^{٦}=٢٠٠ لتر بالتقريب ٢٠٠ كيلو جرام فـــى اليوم تقريباً

وزن المواد الصلبة بنسبة إزالة ٧٥%= ٢٠٠×٠,٧٥×٢(الكثافة) =٠,٣ طن فى اليوم.

التحميل السطحى = ١٠٤,١×١٠^{٣}(لتر فى الساعة) / ١٧,٥×٥.٥=١٠٨١,٥٦لتر فـــى الساعة / المتر المربع.

هـ- المثال الخامس :

مدينة احتياجاتها اليومية ٤٠×١٠^٦ لتر. زمن المكث فى حوض الترسيب ١ ساعة. سرعة التدفق ٢٠ سم/ث. حجم حوض ترسيب بحوائط إعاقة. يفترض أى بيانات غير معطاة.

الحــل :

كمية المياه التى تعالج فى ١ ساعة (زمن المكث) = ٤٠×١٠^٦ / ١٠^٣×٢٤= ١٦٦٦,٧ م٣ فى اليوم .

∴ سرعة التدفق ٢٠ سم/ث .

∴ طول الحوض = السرعة × زمن المكث = ٠,٢×٦٠×٦٠=٧٢٠ متر .

مساحة مقطع الحوض = طاقة الحوض / طول الحوض = ١٦٦٦,٧/٧٢٠=٢,٣١٥ متر مربع ~ ٢,٣٥م٢ . بغرض المسافة بين حوائط الإعاقة ٥٠ سم

∴ عمق المياه فى الحوض = مساحة مقطع الحوض / المسافة بين حوائط الاعاقة = ٢,٣٥/٠,٥= ٤,٧متر

∴ أتساع الفتحة ما بين حوائط الإعاقة والجدار الخارجى للحوض تقدر بمرة ونصف المسافة بين حوائط الإعاقة = ١,٥ × ٠,٥ = ٠,٧٥ متر .

وبعرض حوض الترسيب ذو حارتين عرض كل منهما ١٥ متر صافى شكل (٣٣).

∴ الطول المؤثر لكل حارة = صافى العرض للحارة ٢٠× اتساع الفتحة بين حوائط الإعاقة والجدار الخارجى للحوض = ١٥-٢×٠,٧٥ = ١٣,٥ متر .

∴ عدد القنوات اللازمة = طول التدفق الكلى /الطول المؤثر لكل قناة =٧٢٠/١٣,٥= حوالى ٥٤ قناة

∴ عدد القنوات فى كل حارة = ٥٤/٢=٢٧ سم

وبفرض سمك حائط الإعاقة ١٠سم .

∴ طول حوض الترسيب ذو الحارتين = ٢٧×٠,٥+(٢٧-١)×٠,١ =٢٣ متر.

= ٢٧×٠,٥+(٢٧-١)×٠,١ +٢×٣ متر

طول مدخل ومخرج المياه (٣ متر لكل) = ٢٣ متر.

القسم الثالث

الترسيب بالأسطح المائلة
والترويق بالأجسام الصلبة العالقة

١- أحواض الترسيب ذات الأسطح المائلة أو الأنابيب المائلة أشكال (Tilted Plate And Tube Settler) (٤٦-٥٣)

إذا كانت كفاءة الترسيب ستزداد فى حالة توفير قاع (سطح) إضافى لحوض الترسيب (بند ٣ قسم ٢)، فإنه يمكن زيادة هذه الكفاءة باستخدام عدة ألواح بفاصل صغير بينها كما هو موضح الشكل (٤٦- ٤٧) ولكن يصعب الإزالة اليدوية للرواسب وأن كان يمكن إزالتها باستخدام نافورة من المياه إلا أنه يفضل استخدام الأسطح ذات التنظيف الذاتى حيث يكون الميل لهذه الأسطح بزاوية ٥٠-٦٠° على المستوى الأفقى. الشكل (٤٦، ٤٧، ٤٨) يوضح مقطع طولى لحوض بالأسطح المائلة المتعددة. وفى حالة الترسيب لترويق المياه فإن أحواض الترسيب ذات الأسطح المائلة تتصف بالطاقة العالية مع الحجم الصغير يمكن حساب التحميل السطحى كالآتى:

$$S = Q/NA$$

حيث S= التحميل السطحى م^3/م^2/الساعة

Q = معدل التدفق م^3/ الساعة

A = مساحة قاع الحوض م^2

N = معامل يتوقف على نوع ووضع الأسطح المائلة

وعند دخول المياه من قاع حوض الترسيب فإنها تتدفق لأعلى خلال الأسطح المائلة ثم تتجميع المياه الرائقة فى أحواض التجميع شكل (٤٩). ومع مرور المياه خلال الأسطح المائلة ترسب المواد العالقة على الأسطح السفلى. ويمكن لجسم عالق أن يدخل القنوات بين الأسطح عدة مرات قبل أن يكبر حجمه ويزداد وزنه ليرسب فى القاع .شكل (٤٩). بفرض أن الارتفاع الراسى للألواح h = ١,٥ متر والفاصل بين الألواح (W) = ٠,٥ متر وزاية الميل للألواح بالنسبة للمستوى الأفقى ٥٥° درجه. وأن المعامل (N) فى حالة استخدام الألواح الأسبستوس =١٦. فى هذه الحالة فإن الرواسب لوحدة المساحة للقاع ستزاد الى ١٦ ضعف والتى يمكن أن تزال بالأحواض ذات القاع القعمى مع ميل أجنابها ٥٥° درجة على المستوى الأفقى.

وبدلا من الأسطح المائلة قد تستخدم الأنابيب المتلاصقة المصنوعة من مادة بى فى سى. القطر الداخلى لهذه الأنابيب ما بين ٣-٥ سم والميل على المستوى الأفقى ٦٠ درجة. وفى حالة الأنابيب بقطر ٥ سم وسرعة سقوط المواد العالقة ٢,٥سم / الدقيقة فإن الجسم العالق يستغرق دقيقتين فقط للرسوب الى القاع بينما يستغرق ١٢٠ دقيقة للوصول الى قاع حوض ترسيب بعمق ٣ متر.

وقد صنعت نماذج (Modules) وحدات ترسيب جاهزة للتشغيل بعرض ٧٦سم وطول ٣متر وعمق ٥٤ سم وزاوية الميل على المستوى الأفقى ٦٠ درجة. ولأن الأنابيب بزاوية ٦٠ درجة فإن الطول المؤثر للمواسير ٦١ سم. يمكن صنع هذه الوحدات من الأسطح المستوية من مادة البلاستك (ABS) مع تشكيل الممرات من شرائط من مادة بى فى سى. وهذا الممرات تحمل بشكل متقاطع لتقوية الوحدة (النموذج) حيث يمكن تحميلة فقط عند النهايات. ولكونه من مادة البلاستك فإنه يمكن تشذيبه ليناسب الفراغ المتاح فى حوض الترسيب. نظرا لأن سطح الترسيب المؤثر كبير جدا فإن التحميل السطحى يكون منخفض جدا. ولتوضيح ذلك فعند معدل تدفق ٢٠م^{٢} فى الساعة وعند استخدام ٢٠ صف من الأنابيب فإن التحميل السطحى سوف يقل إلى ١م^{٣} /م^{٢}/الساعة وزمن المكث للمياه فى كل أنبوبة سوف يكون دقائق قليلة. عندما يتوفر العمق المناسب فى حوض الترسيب يمكن زيادة

الكفاءة والطاقة لأداء الحوض باستخدام الألواح المائلة أو لأنابيب المائلة بحيث لا يقل عمق الحوض عن ٢متر. وفى هذه الحالة يلزم مراعاة أن كميات الروبة المرسبة ستزداد مما يتطلب توفير إمكانيات إضافية لإزالتها، وكذلك مراجعة الأقطار للمواسير والهدارات للدخول والخروج للمياه لمواجهة الزيادة فى التحميل السطحى. وفى حالة الأنابيب المائلة فإنها تقام على مساحة ٦٠-٧٥% من مساحة السطحية للأحواض بما يوفر مساحة سطحية مناسبة فى منطقة دخول المياه الى الحوض لترسيب المواد سريعة الترسيب ولتنظيم التدفق قبل الترويق خلال وحدة الأنابيب المائلة شكل (٤٨).

الأنظمة المائلة للترسيب تستخدم ثلاث صور لاتجاه التدفق بالنسبة لاتجاه ترسيب المواد العالقة وهى :

شكل (٥١)

الترسيب بالاتجاه المعاكس : Counter Current Settling

الترسيب بالاتجاه الموازى : Cocurrent Settling

الترسيب بالاتجاه المتقاطع : Cross Current Settling

أ- الترسيب بالإتجاه المعاكس : (٥١- أ)

وفى هذا النظام تدخل المياه المروبة من النهاية السفلى وتتدفق لأعلى خلال القنوات ذات الأسطح المائلة فترسب المواد العالقة على السطح السفلى فى كل قناة. إذا كانت زاوية الميل كبيرة فإن الأجسام الصلبة تتحرك إلى أسفل السطح فى اتجاه معاكس لتدفق المياه وإلا يحدث اضطراب للتدفق مما يتطلب التنظيف من أن إلى آخر. وقد استخدم الترسيب بالاتجاه المعاكس باستخدام الأنابيب المائلة وتم تصميم نماذج مختلفة للأنابيب المائلة (Tube Module) كما فى الشكل (٥٠). وهذه تشمل الأنابيب المربعة بين أسطح راسية والتغير فى اتجاه الميل بين أسطح متجاورة راسية، والأنابيب الراسية. ويستخدم نظام الترسيب بالاتجاه المعاكس فى أحواض المروقات ذات التدفق الأفقى وكذلك فى بعض المروقات ذات الالتصاق

بالاجسام الصلبة (Solids Contact Clariafiers) بهدف تحسين ورفع الكفاءة، بالإضافة الى العمل كعوائق التى تحسن من انتظام التدفق.

ب- بالترسيب بالاتجاه الموازى : شكل (٥١-ب)

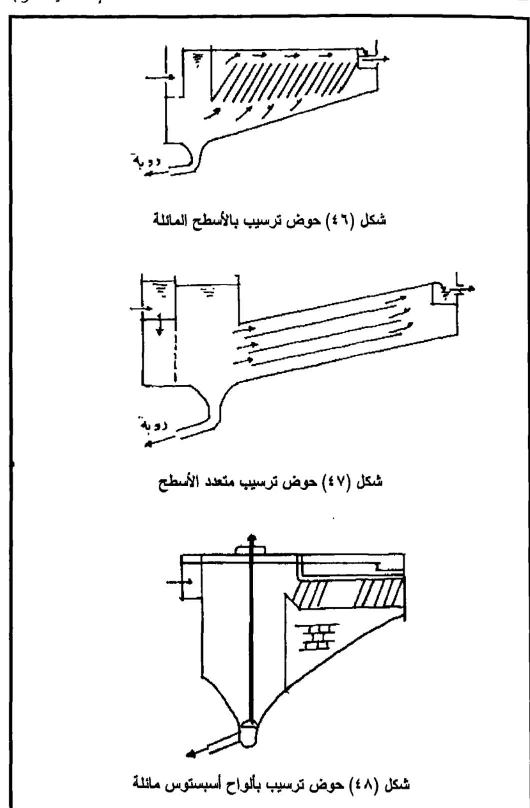
فى هذا النظام فإن المياه تدخل من النهاية العلوية للأسطح العلوية المائلة حيث تتدفق الى أسفل خلال القنوات. المواد المترسبة على الأسطح السفلى تتحرك فى نفس الاتجاه للمياه فوقها. وفى هذا النظام يلزم العناية بجمع المياه من النهاية السفلى للسطح العلوى لكل قناة وذلك لمنع إعادة تعليق المواد المرسبة (Resuspension) ويستفاد بهذا النظام فى التخلص من المواد الطافية والعالقة عند معالجة مياه الصرف.

ج- الترسيب بالاتجاه المتقاطع : شكل (٥١ - ج)

فى هذا النظام تدخل المياه لتتدفق أفقيا بين الأسطح المائلة حيث تتحرك المواد المرسبة إلى أسفل. وفى هذا النظام فإن إعادة تعلق المواد المرسبة عادة أقل من الترسيب بالاتجاه المعاكس أو الموازى. كما أن التغير فى الميل يوفر الاستفادة بحجم الحوض وكذلك سلامة وثبات الإنشاء لنموذج الأنابيب.

د- مروق الأسطح المائلة لا ميلا : شكل (٥٢) : Lamella Tilted Plate Clarifier

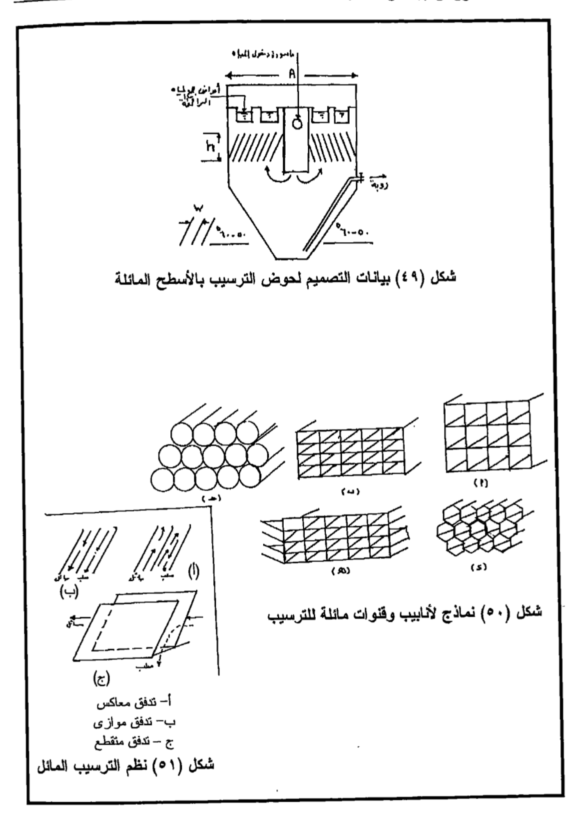
زاد إستخدام مروق الأسطح المائلة فى تنقية المياه. ويشمل عددا من الألواح المائلة بزاوية من ٤٥-٦٠ درجة بالنسبة للمستوى الافقى. وتستخدم فى هذا النظام طرق مختلفة لدخول المياه لتمكن دخول المياه لكل قناة مائلة.



شكل (٤٦) حوض ترسيب بالأسطح المائلة

شكل (٤٧) حوض ترسيب متعدد الأسطح

شكل (٤٨) حوض ترسيب بألواح أسبستوس مائلة

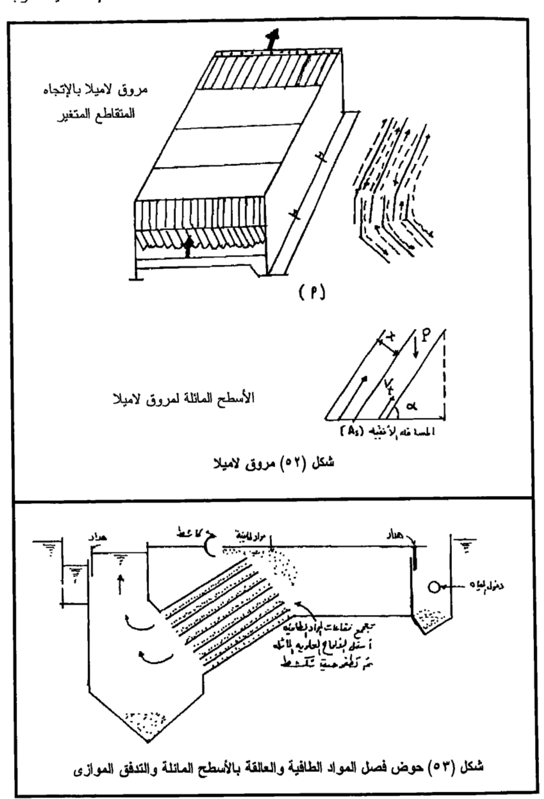


شكل (٤٩) بيانات التصميم لحوض الترسيب بالأسطح المائلة

شكل (٥٠) نماذج لأنابيب وقنوات مائلة للترسيب

أ- تدفق معاكس
ب- تدفق موازى
ج - تدفق متقطع

شكل (٥١) نظم الترسيب المائل



شكل (٥٢) مروق لاميلا

شكل (٥٣) حوض فصل المواد الطافية والعالقة بالأسطح المائلة والتدفق الموازى

عند ثلث ارتفاعها عن القاع. والنتيجة أن ترسب المواد العالقة فى مسافة قصيرة فى كل قناة وأن تنزلق الى منطقة جمع الرواسب أسفل الألواح. المياه المروية تمر فى الاتجاه المعاكس أسفل سقف كل قناة إلى وصلة تجمع المياه الرائقة.

المساحة المحققة نظريا لفصل المواد العالقة تساوى مجموع إسقاط الأسطح (الألواح) أو القنوات على المستوى الأفقى ويوضح شكل (٥١) أن الإسقاط الأفقى لقناة واحدة لمروب، حيث المساحة الأفقية (A)، المسافة بين السطحين مقاسه عموديا x. فان المروق سوف يحتوى على عدد من القنوات = $\frac{Sin\alpha}{x}$ لكل وحدة طول. الزاوية α المناسبة هى ٥٥-٦٠ درجة لتسمح بالسقوط للمواد العالقة، كما أن الفاصل بين الألواح يلزم أن يكون كبيرا بما يسمح بالتدفق المعاكس للسائل والمواد الصلبة المترسبة فى قاع السطح السفلى وهذه المسافة تتراوح ما بين ٥-٧.٥ سم.

توجد أنواع مختلفة من النماذج ولكن الاختلاف الرئيسى بينها هو طريقة توزيع المياه الداخلة الى الوحدة. وطاقة التشغيل تتراوح ما بين ١ - ٣ م^{٣} / م^{٢} / الساعة من المساحة السطحية الأفقية، الطول المائل من ١-٣ متر. الميزة الرئيسية للمروق الذى يعمل بالأسطح المائلة هى زيادة طاقة التحميل السطحى لكل متر مربع من المساحة الأفقية. ولكن العيوب الرئيسية هى التغير فى تركيز المواد الصلبة المتدفقة لأسفل والذى يقل عن المروقات التى تعمل بالجاذبية وكذلك صعوبة التنظيف والتسليك عند حدوث انسداد. وعند استخدام المرويات فإنه يلزم توفير معدات وأحواض الترغيب قبل الفصل نظرا لأن الشكل الهندسى لأحواض الفصل لا يسمح بالترغيب.

وتمثل هذه الأحواض ميزة كبيرة فى حالة ارتفاع أسعار الأراضي. ومشـــاكل أحواض الترسيب المائلة هى الإنشاء للأسطح الغير محملـــة، إزالـــة الرواســب، الصيانة للأجزاء الميكانيكية المغمورة كما تستخدم الأسطح المائلة فى إزالة المـــواد الطافية والعالقة شكل (٥٣).

٢- المروقات ذات طبقة الزغبات (الروبة) العالقة Floc Blanket Clarifiers :

أ- نظرية عمل طبقة الزغبات العالقة (السابحة) Fluidi Zed Bed

عند مرور سائل إلى أعلى خلال طبقة سابحة وثابتة ومتجانسة من الزغبـــات بمعدل تدفق منخفض، فان شكل التدفق يشابه ذلك عندما يكون الى أســـفل خـــلال الطبقة، عندما تزداد سرعة التدفق الى أعلى بدرجة كافية بما يسبب قـــوة ســحب (Drag Force) على الزغبات مساوية للوزن الظاهرى (الـــوزن الحقيقـــى نـــاقص الطفو) للأجسام. عندئذ فإن هذه الأجسام العالقة (الزغبات) توفر مقاومة أقل للتدفـق وكذلك حدوث تمدد لطبقة الزغبات (الروية) وتستمر هذه العملية مع زيادة ســـرعة السائل حتى تصل الطبقة الى أدنى حالة من التجميع أو التراكم. وعند زيادة أكـــثر لسرعة السائل لأعلى تتفكك عن بعضها وتصبح محملـــة بحريـــة علـــى الســـائل (سابحة). عندئذ يقال أن هذه الطبقة من الزغبات (الرويـــة) هـــى طبقـــة ســـابحة (Fluidized Bed). حيث لا تتحرك الأجسام العالقة وتظل عالقة بواســـطة التدفـــق الصاعد للسائل.

المروقات التى تعمل بطبقة الزغبات الســـابحه أ شـــكال (٥٤، ٥٦، ٥٧، ٥٨، ٥٩، ٦٠، ٦١، ٦٢) لها حوائط راسية متوازية وقاعدة مستوية أو قمعية. فى هـــذه المروقات فإن المياه المختلطة بالمروب يتم تغذيتها من أسفل الى قـــاعدة المـــروق. والتدفق الناتج المنتشر الى أعلى يسبب حدوث الـــتزغيب (Flocculation)، وتظـــل

الأجسام من الزغبات الكبيرة عالقة فى الحوض. الزغبات العالقة تتراكم ببطئ أولا ثم تزداد الى أقصى معدل للتراكم والتجميع والذى يحده التدفق الصاعد للمياه وخصائص الزغبات العالقة. وعند الوصول الى هذا الحد يمكن القول بوجود طبقة من الزغبات (Floc Blanket) تشغل حيزا من هذه المواد العالقة حيث يزداد حجمها ويرتفع سطحها العلوى. يمكن التحكم فى مستوى سطح هذه الطبقة بإزالة المواد الصلبة العالقة (الروبة) من هذه الطبقة للمحافظة على منطقة مياه رائقة ما بين الطبقة (أعلى الطبقة) وأحواض تصريف المياه الرائقة أو الهدارات.

وتتم عملية الترويق فوق وأعلى الطبقة فى شكل ترسيب، حجز، تنقية وعمليا فإن زمن احتجاز المياه فى طبقة الروبة السابحة يزيد عن الزمن اللازم لنمو الزغبات. وهذه العملية تشبه عملية الحجز السطحى للمرشحات العميقة حيث يتم الحجز بالتزغيب و تجميع الزغبات، ولكن الاحتمال الأكثر هو حجز المصفاة (Straining) حيث الأجسام العالقة الصغيرة الصاعدة لا تتمكن من المرور خلال المسام بين الأجسام الكبيرة والتى تتكون منها معظم الطبقة السابحة. وتتأثر كفاءة الحجز بالفواصل بين الزغبات الكبيرة والتى ترتبط بنوع الزغبات وسرعة السائل. ولتحقيق حالة عدم رسوب الأجسام العالقة. (Hindered Settling) والتجميع المسامي السايج (Fluidized Bed) لطبقة الزغبات السابحة فإن ذلك يرتبط بالعلاقة بين سرعة التدفق الصاعد للماء وتركيز الزغبات. ذلك لأن نوعية المياه الرائقة تتلف بسرعة عندما يقل تركيز الزغبات فى الطبقة السابحة وإن زاد التركيز كثيرا فإن الفواصل بين الزغبات تكون صغيرة لحجز الزغبات الصاعدة وبالتالى يكون التحسن بطئ فى نوعية المياه الرائقة.

ولذلك فى حالة الترسيب باستخدام طبقة الزغبات (الروبة) السابحة الواضحة والمحددة فإن ذلك يتطلب أن تكون السرعة للتدفقات للماء حوالى نصف أقصى معدل للترسيب (يحدث مظهر غليان خفيف عند سرعة ٠,٥٥ × V)، وبمعنى أخر

هى نصف مسافة رسوب الأجسام العالقة (h/2) والذى يقدر بحوالى ١٦-٢٠% من حجم الحوض فى حالة استخدام الشبه كمروب و ٢٥-٣٠ % عند استخدام البولى إليكتروليت من مساعدات الترويب.

ب- المروقات بنظام الأجسام الصلبة الملتصقة : شكل (٥٤، ٥٨، ٥٩) Solid Contact Clarifiers

مروق الأجسام الصلبة الملتصقة يكون عادة فى الشكل الدائرى وأحيانا فى الشكل المربع. ويشمل كل عمليات المرحلة الأولى لتنقية المياه، الخلط السريع، الخلط البطئ للتزغيب، تدوير المواد الصلبة، كسح الروبة. وهذه المروقات تعمل لترسيب المواد العالقة بالتدفق العلوى.

فى هذا النظام يتم التغذية بالمياه العكرة الى منطقة الخلط السريع وهى داخل غطاء والذى يشكل الحائط الداخلى لمنطقة الترسيب. يتم التغذية بالكيماويات فى منطقة الخلط السريع، ثم تتدفق المياه من منطقة الخلط السريع أسفل الحائط الى قاع منطقة الترسيب. وفى نظام إعادة التدوير والخلط الأولى السريع فإن المياه تسحب من أعلى منطقة الخلط الأولى وتصب فى وسط منطقة الترسيب. نظام إعادة التدوير يمكن من تدفق المياه الغير معالجة (العكرة) إلى الحوض وأن التدفق الزائد فى منطقة الترسيب يسحب لأسفل الحائط ثانيا إلى منطقة الخلط الأولى، وهذه الحركة إعادة تدوير المواد الصلبة تساعد على التزغيب فى منطقة الخلط الأولى تزغيب العكارة حيث يزداد حجم التزغيبات بالتصاقها (Solids Contact). تزال الروبة من خلال محبس آلى مزود بجهاز ميقاتى (Timer). يمكن تحديد كمية المياه الدائرة فى العملية افتراضيا (Emperical) والتحكم فيها.

تصمم المروقات ذات الأجسام الصلبة الملتصقة بطريقتين، الأولى وهى التصاق الطبقة (Blanket Contact)، حيث التدفقات الصاعدة يتم ترشيحها خلال طبقة الزغبات، والتى تتمدد بانتظام لمساحة كبيرة مسامية كافية تسمح فقط بالمياه

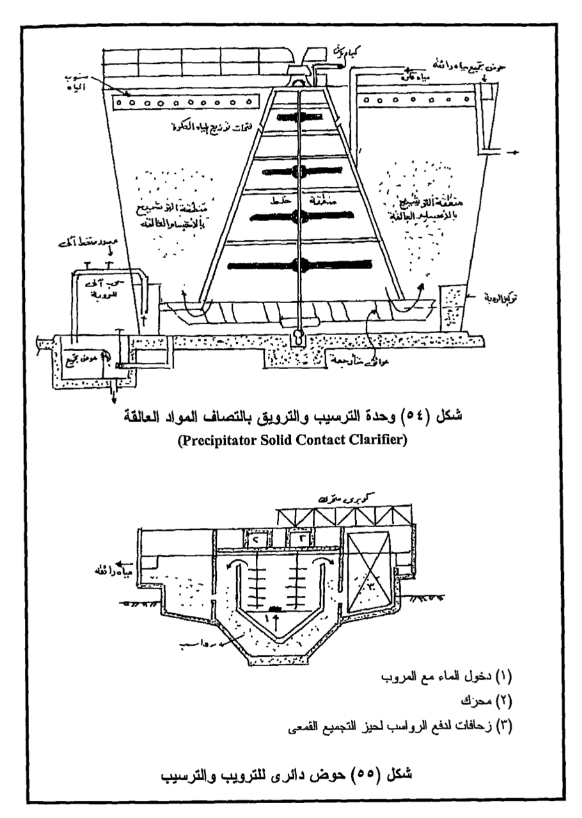
الرائقة بالمرور. والطريقة الثانية تشمل التحكم فى حجم التدوير للمواد الصلبة لمنطقة الخلط السريع بما يسمح بالتصاق الأجسام العالقة فى منطقة الخلط السريع والتزغيب ومن الناحية العملية فإن النوع الثانى الذى يعمل بتدوير المواد الصلبة هو المستخدم شكل (٥٦، ٥٨). فى وحدة التصاق المواد الصلبة حيث التصميم بالتدفق لأعلى يتطلب توفير الزمن الحقيقى للتزغيب والتحكم فى التدوير وصرف الروبة بما يحقق كفاءة تنقية عالية. يعتبر نظام التنقية بنظام المواد الصلبة الملتصقة مثالى فى عمليات إزالة العسر بالجير (Lime Softening). ويمكن إعتبار أن كلا النوعين من أحواض التصاق المواد الصلبة من المروقات ذات طبقة الزغبات وذلك فى حالة إمكان عمل طبقة من الزغبات ثابتة وواضحة ومستمرة فى منطقة الترسيب. وعادة فإن حجم وتركيز المواد الصلبة فى التدوير فى أحواض الالتصاق ليس كبيرا مثل المطلوب لاستمرار الطبقة.

ج- المروقات القمعية ذات طبقة الزغبات العالقة : شكل (٦١)

فى أول تصميم لأحواض طبقة الزغبات العالقة كان لها قاع قمعى واحد مربع أو مستدير المقطع. فى هذه الوحدات فإن المياه المختلطة بالمروب يتم تغذيتها من أسفل قاع القمع. يساعد شكل القمع المتسع على سهولة توزيع التدفق من نقطة واحدة فى المدخل الى تدفق صاعد لمساحة كبيرة. التدفق العلوى المتسع يسمح بحدوث نمو للزغبات واستمرار الجسيمات الكبيرة عالقة وتكوين طبقة من الزغبات. الفقد فى الضغط خلال طبقة الزغبات رغم صغره فإنه يساعد على تجانس التدفق لأعلى. يشغل القمع الواحد أو الشكل الهرمي حوالى ٣٣% من المساحة المتيسرة هذا الى التكاليف العالية فى الإنشاء وقيود الإنشاء. ولهذا فقد تم تطوير أشكال بديلة للأحواض القمعية مع المحافظة على الميزة الهيدروليكية للأقماع. وهذا يشمل أحواض متعددة الأقماع وحوائط وأحواض تجميع وتجهيز للخلط المسبق السريع ومع زيادة عمق طبقة الزغبات فإن نوعية المياه الرائقة أعلا

الطبقة تتحسن ولكن مع زيادة هذا العمق عن حد معين يقل تحسن نوعيـــة الميــاه الرائقة.

عمق طبقة الزغبات دليل على كمية المواد الصلبة العالقـــة. العمــق المؤثــر (السمك المؤثر) يعرف بالحجم الكلى للطبقة مقسوما على مساحة سطحها العلـــوى الملامس للمياه الرائقة. العمق المؤثر للقمع هو تقريبـــا ثلـــث القمـــع. لـــهذا فـــإن الأحواض ذات القاع المستوى عمقها الحقيقى أقل كثيرا من الأحواض القمعيـــة ذات نفس العمق المؤثر. العمق المؤثر للطبقة حوالى ٢-٣ متر. كمية الأجسام الصلبـــة العالقة والتى تقدر بعمق طبقة الزغبات وتركيزها تؤثر على الكفاءة لتأثيرها علـــى عملية الترغيب، وكذلك فان الفقد في الضغط يساعد علي توزيع التدفق، بما يعنـــي زيادة سمك الطبقة وثباتها. طبقة الزغبات الثابتة جدا يمكن أن تعمل وتوفـــر ميـــاه رائعة (Supernatent) بعمق أقل من ٣٠ سم وبدون تسرب للزغبـــات إلـــي أعـــلا (Carry Over) أو إعادة تعلق ملموسة. وعمليا فإن هذا يتوقف علي الفواصل بيـــن الهدارات والاضطرابات الناتجة عـــن حركة الرياح. في الأحواض حيث الطبقـــة ذات السطح الغير مستقر تميل إلي مظهر الغليان الغير مستقر مع ضعف إمكانيـــة التحكم في السطح ولهذا فإن طبقة المياه الرائقة فوق سطح الزغبات يجب إلا يقـــل عمقها عن ١ متر لتقليل سحب الزغبات وخاصة في حالة زيـــادة ســـرعة التدفـــق لأعلي. وعادة فإن طبقة المياه الرائعة فوق سطح الزغبات تكون ٢ متر وإن كـــان هذا ليس بالضرورة في حالة التحكم الجيد في منسوب طبقة الزغبات. يمكن بسهولة التحكم في منسوب طبقة الزغبات باستخدام هدار للروبة أو أقماع أعتاب موضوعـــة علي منسوب عالي نسبيا. يمكن تفريغ أقماع الروبة من آن الـــي آخـــر بواســـطة محابس موقوتة آليا شكل رقم (٦١). كما يجب ان تكون أقماع الروبة مـــن ناحيـــة حجمها وتوزيعها بما يوفر الإزالة الجيدة للروبة. وان تكون كذلك كبـــيرة لتحقـــق التكثيف الأولي في حالة المعدل العالي لسحب الروبة، ويحدث هذا عند زيادة معـــدل التدفق وزيادة الجرعات الكيماوية.



شكل (٥٤) وحدة الترسيب والترويق بالتصاف المواد العالقة

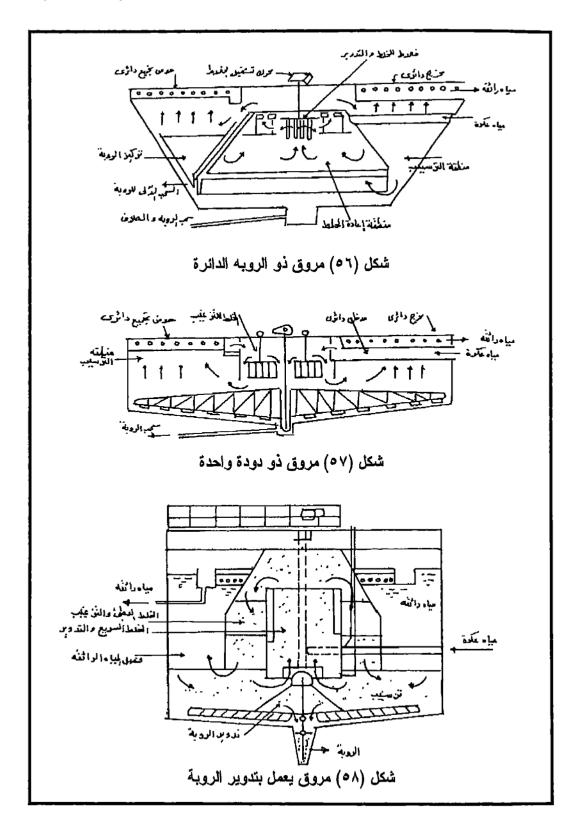
(Precipitator Solid Contact Clarifier)

(١) دخول الماء مع المروب

(٢) محرك

(٣) زحافات لدفع الرواسب لحيز التجميع القمعى

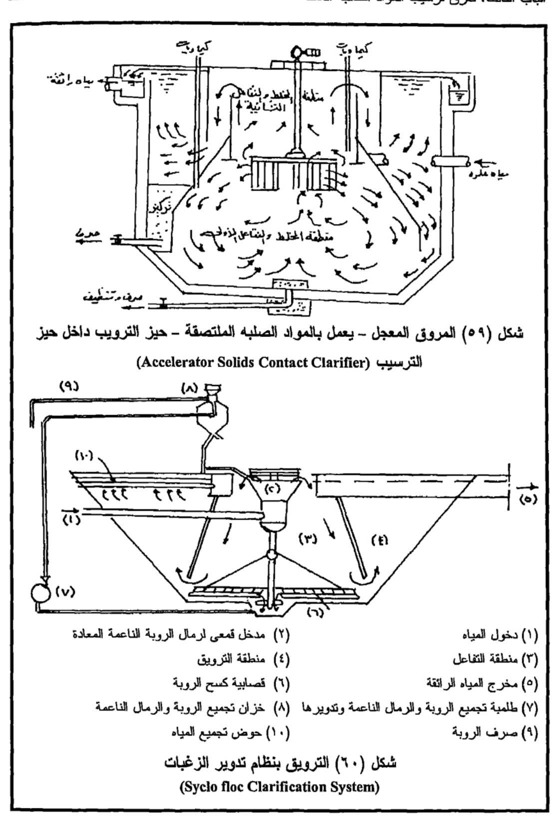
شكل (٥٥) حوض دائرى للترويب والترسيب



شكل (٥٦) مروق ذو الروبه الدائرة

شكل (٥٧) مروق ذو دودة واحدة

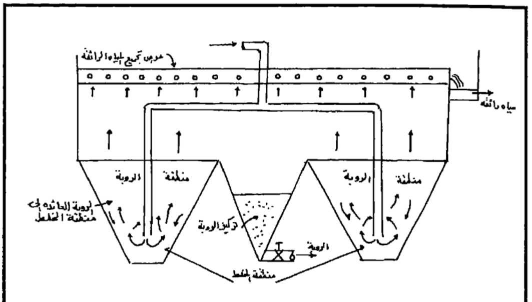
شكل (٥٨) مروق يعمل بتدوير الروبة



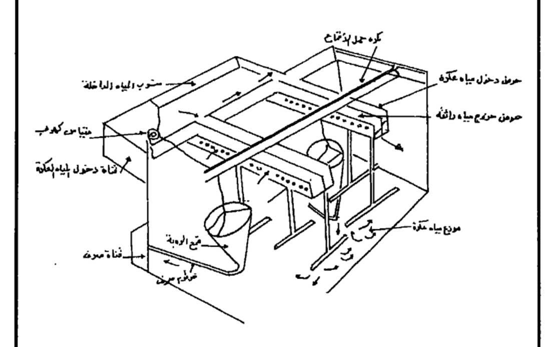
شكل (٥٩) المروق المعجل - يعمل بالمواد الصلبه الملتصقة - حيز الترويب داخل حيز الترسيب (Accelerator Solids Contact Clarifier)

(١) دخول المياه
(٢) مدخل قمعى لرمال الروبة الناعمة المعادة
(٣) منطقة التفاعل
(٤) منطقة الترويق
(٥) مخرج المياه الرائقة
(٦) قصابية كسح الروبة
(٧) طلمبة تجميع الروبة والرمال الناعمة وتدويرها
(٨) خزان تجميع الروبة والرمال الناعمة
(٩) صرف الروبة
(١٠) حوض تجميع المياه

شكل (٦٠) الترويق بنظام تدوير الزغبات
(Syclo floc Clarification System)



شكل (٦١) مروق القاع القمعى وطبقة الروبة العالقة وقمع منفصل لتركيز الروبة



شكل (٦٢) حوض ترويق مسطح القاع - توزيع التدفق بالشموع المقلوبة وجمع الروبه فى أقماع

*** مثال :**

لتحديد المساحة اللازمة لإزالة الزغبات العالقة (الروية) بهدف التحكم في منسوب طبقة الزغبات في حوض الترويق الذي يعمل بطبقة الزغبات العالقة. بفرض:

معدل التدفق الأعلى متر/الساعة	١,٦	١,٩٥	٢,٥	٣,٠٥	٣,٦٥	٤,٢	٤,٧
نسبة المساحة المطلوبة %	١,٩	٢,٠	٢,٣	٢,٦	٣,١	٣,٦	٤,٥

وتتوقف نسبة المساحة المطلوبة طبقا للجرعات المختلفة من الشبة وعمليا المساحة الكبيرة تكون لازمة لمواجهة الحاجة لإزالة الزغبات عند حالات التدفقات العالية المفاجئة ولمدة قصيرة.

د- مروق طبقة الزغبات العالقة بالقاع المستوى: Flat Bottom Tank

من أجل خفض تكاليف الانشاء تم التخلى عن الأقماع واستخدام أحواض ذات قاع مستوى. وبذا أمكن توفير تدفق جيد باستخدام مواسير عبر القاع أو الشموع المقلوبة. وإن كان هذا يعيق انشاء نظام الترسيب المائل شكل (٦٢).

٣- عمليات الترويق الخاصة :

أ- المروق النابض : Pulsator Clasrifier شكل (٦٣)

هذا المروق تم تصنيعه وتطويره بواسطة شركة Decrement وهو عبارة عن مروق ذو طبقة زغبات والذي يستخدم نظام موحد للنبض الهيدروليكي. لإستمرار تجانس طبقة المواد الصلبة فى المروق تدخل المياه المروبة كيميائيا أولا غرفة تفريغ مجاورة للمروق لتسحب المياه إلى الغرفة بواسطة طلمبة تفريغ (Vacuum Pump) ويتم التحرر من التفريغ بواسطة تيار هواء والذي يسمح بتدفق الهواء الى المروق بما يسبب نبض هيدروليكي فى المروق. طاقة التزغيب المكتسبة هي دلالة لزمن النبض وشدته. المياه المروبة تدخل المروق خلال عدد من مواسير

التوزيع عند قاع المروق. مواسير التوزيع المثقبة والتى تعلوها مباشرة عوائق على شكل حرف V المقلوب المثبتة تسبب اضطراب والذي يساعد فى توزيـــع التدفــق بالتساوي على قاع طبقة الزغبات. مرور المياه لأعلى خلال طبقة الزغبات يوفـــر التصاق المـــاء بزغبـــات متكونـــة ســـابقا أي الـــتزغيب بالالتصـــاق (Contact Flocculation) والذي يحقق ترويق للمياه العكرة القادمة. أثناء التدفق الأولى للميـــاه فى المروق فان طبقة الزغبات تتمدد لاعلـــى أثنـــاء الجـــزء مـــن دورة النبـــض (Pulsating Cycle) عندما لايكون هناك تدفق للماء داخـــل المـــروق فـــان طبقـــة الزغبات ترسب واستمرار النبض يحافظ على استمرار وانتظام طبقة الزغبات فـــى المروق وبذلك يتوفر الاستمرار للتدفقات خلال المروق ونتيجة للالتصـــاق الجيـــد للتدفقات مع طبقة الزغبات يمكن تحقيق استخدام جيد للمروب وإنتاج ميـــاه رائقـــة جدا. دورة النبض التقليدية عادة ٤٠-٥٠ ثانية ويتم المحافظة علـــى عمـــق طبقـــة الزغبات فى منسوب ثابت باستخدام هدار لسحب الروبة. مروق النبضات مفيد فـــى تنقية المياه قليلة العكارة والملونة (Hilghly Coloured) وذلـــك لصعوبـــة تكويـــن زغبات سريعة الترسيب. التحميل السطحي للمروق النابض مـــن ٠,٢٥ الـــى ١,٩ جالون فى الدقيقة / القدم المربع من المساحة السطحية للمروق وبمتوســـط تحميـــل ٠,٥ جالون فى الدقيقة / القدم المربع تقريبا.

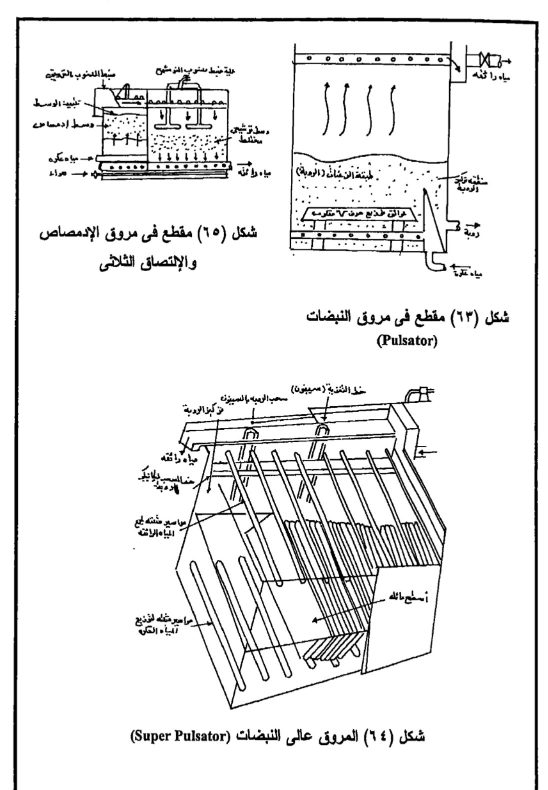
ب - المروق عالي النبضات : شكل (٦٤) Super Pulsator Classifier

تم تطوير مروق النبضات بواسطة الشركة المنتجة إلى المروق عالي النبضات بطبقة الزغبات يشمل نظام النبض الهيدروليكي لمروق النبضات مع مجموعة مـــن الأسطح المتوازية المائلة موضوعة فى خلال طبقة الزغبات. الأسطح المائلة تساعد فى استمرار التركيز العالي للمواد الصلبة مع زيادة معدل الـــترويق الـــهيدروليكي لأعلى وهذا يسمح للمـــروق عالي النبضات ليعمل بمعدل تحميل اكبر ٢-٣ مـــرة عن مروق النبضات. ميل الأسطح ٦٠ درجة على الأفقي والفاصل بين الأسطح من ١٢-٢٠ بوصة (٣٠-٥٠ سم) تركب ريش عاكسة صغيرة على المحور العرضـــى للأسطح المائلة وفى اتجاة التدفق بين الأسطح. وهـــذه العواكـــس توجـــد دوامـــة (Vortex) بما يساعد فى خلط المواد الصلبة التى رسبت مع المياه الجاري تنقيتها.

جـ- المروق الثلاثي الذي يعمل بالامتصاص والالتصاق شكل (٦٥)

المروق الثلاثي لتنقية المياه يشمل مراحل الترويب والترويق والترشـــيح فـــى وحدة واحدة تعمل بالتدفق العلوي والإدمصاص. الوسط المستخدم فى الإدمصـــاص يتكون من خرزات من البلاستيك القابل للطفو والتى تحجز فى المـــروق بواســـطة شبكة. يصاحب عملية إزالة العكارة إدمصاص الزغبات المتروبـــة علـــى ســـطح الخرزات البلاستيك وكذلك على الجسيمات الملتصقة بها.

يصمم المروق الثلاثي لتوفير حمل سطحي حوالى ١٠ جالون / القدم المربـــع فى الدقيقة. الحجم المؤثر لجيبات الوسط الترشيحي (الخرزات) ٤-٦ مليمتر وعمق الوسط الترشيحى حوالي ٤ قدم.



شكل (٦٣) مقطع فى مروق النبضات
(Pulsator)

شكل (٦٥) مقطع فى مروق الإدمصاص والإلتصاق الثلاثى

شكل (٦٤) المروق عالى النبضات (Super Pulsator)

الباب الرابع

التخلص من المواد العالقة بالترشيح

الباب الرابع

التخلص من المواد الصلبة العالقة بالترشيح

مقـدمة :

فى الترشيح تمر المياه خلال وسط ترشيحى لإزالة الجسيمات العالقة التى لـــم تزال بالترسيب. توجد أساليب مختلفة للترشيح ومنها بناء طبقة من الزغبات علـــى سطح الوسط الترشيحى والتى تعمل كذلك كوسط ترشيحى والثـــانى هـــو تســـرب الزغبات فى الوسط الترشيحى حيث تتسرب المياه بما يزيل الجســـيمات العالقـــة. تنقسم المرشحات إلى نوعين رئيسين وهما المرشحات البطيئة والمرشحات السريعة التى تعمل إما بالجازبيه أو بالضغط. وأى من هذه المرشحات تعمـــل باســـتخدامها للوسط الترشيحى الرملى. تستخدم المرشحات البطيئة فى التصرفات الصغيرة أمـــا المرشحات الرملية السريعة فهى تستخدم فى المحطات ذات التصرفات الكبيرة.

القسم الأول

الترشيح الرملى البطىء

Slow Sand Filteration

فى الترشيح الرملى البطىء تستخدم طبقة من الرمال الرفيعة (Fine sand) والتى من خلالها تتسرب المياه ببطئ لأسفل شكل (٦٦). نظرا لصغر حجم الحبيبات فان الفراغات للوسط الترشيحى تكون كذلك صغيرة. تحتجز نسبة كبيرة من المواد العالقة فى السطح العلوى للوسط الترشيحى بسمك من ٠,٥ الى ٢سم وهذا يمكن من تنظيف المرشح بكشط الطبقة العليا من الرمال. ونظراً لأن معدل الترشيح يكون قليلا (٠,١-٠,٣ متر فى الساعة = ٢-٧ م^{٣}/م^{٢}/ اليوم) فان الفترات الزمنية بين عمليات النظافة تكون طويلة وعادة تبلغ عدة شهور. عملية التنظيف للمرشح تستغرق حوالى يوم واحد، ولكن بعد التنظيف فإنه يتطلب ٢-٣ يوم أضافى ليصبح الوسط الترشيحى مؤثر تماما. الأداء الرئيسى للترشيح الرملى البطىء هو ازالة الكائنات الحية الدقيقة من المياه العكرة، وبالتحديد البكتريا والفيروسات التى تقوم بنقل الأمراض عن طريق الماء ويقلل الى حد كبير من محتواها فى الماء. المرشح الرملى البطئ الذى يعمل بكفاءة يزيل كذلك البروتوزوا (مثل الانتاميبا، هستولوتيكا والإسكارس). الترشيح الرملى البطىء عموما يوفر مياه آمنه بكتريولوجيا كما انه مؤثر جدا فى ازالة المواد العالقة من المياه العكرة ولكن الانسداد فى الوسط الترشيحى قد يكون سريعا جدا مما يتطلب تنظيف سريع من آن إلى آخر. واستخدام المرشح الرملى البطىء مناسب للمياه العكرة ذات عكارة (٥) بمقياس نيفيلومترى مع اقصى قيمة اقل من ٢٠ وحدة نيفيلومترى لعدة أيام قليلة.

وفى غير هذه الحالات فانه يلزم خفض العكارة فى المياه العكرة وذلــك باســتخدام المروبات والترسيب او الترشيح الرملي السريع وذلك قبل دخول المياه الى المرشح البطئ.

المرشحات الرملية البطيئة لها ميزات كثيرة فى الدول النامية، حيــث يمكــن الحصول على مياه نقية آمنة صحيا كما يمكن إنشائها من المواد المحلية وباستغلال العمالة المحلية وذلك مع الاستغناء عن كثير من المعدات الميكانيكيــة والكهربائيــة الموجودة في محطات التنقية التي تستخدم المرشحات السريعة. المرشحات الرمليــة البطيئة تشغل حيز من الأرض ولكنها لا تتطلب الترويب أو الكلور. ولكــن عنــد ضخ المياه فى الشبكة يتم حقن جرعة الكلور.

١- نظرية الترشيح الرملي البطيء:

في المرشحات الرملية تزال الملوثات من المياه العكرة خلال عـــدة عمليــات مختلفة منها التصفية أو التنقيـــة (Screening) والترســيب والادمصــاص والأداء البيوكميائي والميكروبي. تصفى الأجسام العالقة كبيرة الحجم والتي لا تمر خـــلال مسام الوسط الترشيحي. ويحدث هذا عادة على سطح المرشح حيث تحتجــز هــذه المواد في الطبقة العليا للوسط الترشيحي بما يزيد من كفاءة التنقية ولكنها تزيد مــن مقاومة تدفق المياه لأسفل. وبإزالة هذه الملوثات من الطبقة العليا من أن إلى أخــر يمكن استعادة الضغط الرأسى (Pressure Head) للوسط الترشيحي لقيمته الأصلية.

الترسيب يزيل الأجسام الصغيرة العالقة والتي ترسب على ســـطح جســيمات الرمل للوسط الترشيحي. ونظرا لأن المساحة السطحية لجسيمات الرمـــل للوســط الترشيحي كبيرة جدا، والتي تصل إلى ١٠ - ٢٠ ألف متر مربع لكل متر مكعــب من الرمل، وأن معدل الترشيح منخفض بما يوفر معدل تحميل سطحي منخفض فإن كفاءة الترسيب ستكون تبعا لذلك كبيرة جدا بما يمكن من إزالة الأجسام الصغـــيرة جداً. وهذه الإزالة تتم في السطح العلوي للوسط الترشيحي ولا يتسرب إلى عمـــق الوسط الترشيحي سوى المواد العضوية منخفضة الكثافة النوعيه. المـــواد العالقــة المتبقية والمواد الهلامية (Colloidal) وبعض الملوثات المذابة تزال بالإدمصـــاص

على الطبقة الجيلاتينية الملتصقة على سطح حبيبات الوسط الترشيحي أو بـــالجذب الكهروستاتيكي.

الانجذاب الكهروستاتيكي (Electrostatic Attraction) وإن كان مؤثرا ولكنـــة يحدث فقط بين الأجسام ذات الشحنات الكهربية المختلفة. فرمل الكوارتز النظيف له شحنة سالبة ولذلك فإنه لا يمتز الاجسام ذات الشحنة السالبة مثل البكتريا والمـــواد الهلامية من اصل عضوى وآن أيونات النترات والفوسفات والمركبات الكيماويـــة المشابهة. لذلك فأثناء الأداء الجيد سيتعرض الوسط الترشيحى لتغـــيرات مســتمرة لشحنات السالبة والموجبة على الغشاء المحيط بحبيبات الرمل التى يمكنها امـــتزاز معظم الملوثات من المياه المارة.

الاجسام التى تراكمت على حبيبات الوسط الترشيحى لا تستمر بـــدون تغيـــير فإنها تتغير من خلال نشاط بيوكميائى وبكتيرى فأملاح الحديد والمنجنــــيز ثنائيـــة التكافؤ والتى لا تذوب فى الماء والتى تكون جزء من الغطـــاء المحيـــط بحبيبـــات الرمال قد تختزل إلى البيكربونات المذابة فى الماء نتيجة تفاعلها مع ثـــانى أكســيد الكربون الناتج عن التحلل البيولوجى للمواد العضوية. المواد العضوية التى تتأكســد جزئيا توفر الطاقة اللازمة لنمو البكتريا ، والجزء الأخر يتحول الى مادة الخلايـــا التي تستخدم فى نمو البكتريا. وجنبا إلى جنب مع نمو البكتريا يوجد كذلــك مــوت للبكتريا وبهذا توجد مواد عضوية والتى تحمل بواسطة المياه وتستهلك ثانيا بواسطة بكتريا على عمق اكبر فى الوسط الترشيحى. وبهذه الطريقة فان المواد العضويـــة القابلة للتحلل الموجودة أصلا فى الماء تتحلل بالتدريج وتتحول إلى مركبات غـــير عضوية مثل ثانى أكسيد الكربون، النترات، الكبريتات، الفوســفات وهــذه المــواد تصرف مـــع المياه الخارجة من المرشح. وللأداء المؤثر والجيد لعملية الترشـــيح فإنه من الضرورى أن تتحرك البكتريا إلى عمق الوسط الترشيحى وهـــذا يتطلـــب وقت مع حدوث تغير بطئ فى معدل الترشيح خلال ساعات وعمليا فقـــد وجـــد أن النشاط الكلى للبكتريا يمتد الى ما بعد ٦٠ سم من عمق الوسط الترشـــيحى، ممـــا يتطلب أن لا يقل عمق هذه الطبقة عن ٧٠سم.

أهم تأثير فى تنقية المياه باستخدام المرشح الرملى البطيء هو إزالة البكتريا والفيروسات خلال الإدمصاص والعمليات الأخرى حيث تزال البكتريا من الماء وتحتجز على سطح حبيبات الوسط الترشيحى. وبالنسبة للبكتريا المعوية فان برودة المياه أحيانا تكون ظروف غير مناسبة لمعيشتها، بالإضافة إلى عدم احتواء المياه على ما يكفى من المواد العضوية من اصل حيوانى لمعيشتها، بالإضافة إلى وجود أنواع مختلفة من البكتريا المفترسة فى الجزء العلوى للوسط الترشيحى والتى تتغذى على البكتريا المعوية، وكذلك فان الاكسدة البيولوجية الكيماوية (Biochemical Oxidation) تقلل من المواد العضوية المطلوبة لتكاثر ونمو البكتريا. وكذلك تنتج مختلف الكائنات الدقيقة فى الوسط الترشيحى مركبات كيماوية (مضادات حيوية) والتى تقتل او تقلل من نشاط أنواع من البكتريا المعوية. والأثر الكلى هو النقص الكلى لعدد بكتريا (E - Coli) ونظراً لأن الكائنات الحية الممرضة (Pathogens) أقل مقاومة من (E Coli) لذا فإن نسبة النقص فيها تكون كبيرة. وعند تنقية المياه العكرة بمحتوى متوسط من البكتيريا فى المرشحات الرملية البطيئة، فإنه عادة ما تخفض بكتريا E-Coli من عينة الماء المرشح بنسبة كبيرة جداً.

عادة تنشأ المرشحات الرملية البطيئة فى الهواء الطلق (غير مغطاة). وقد يحدث نمو للطحالب بفعل التمثيل الضوئى وان كان له سلبياته إلا أنه يزيد من كفاءة المرشح مع زيادة الإزالة للمواد العضوية والبكتريا وذلك بواسطة الطبقة الرقيقة الهلامية على أسطح الوسط الترشيحى، والتى تتكون من الطحالب العضوية وأنواع أخرى مثل البروتوزوا والبلانكتون. سطح الوسط الترشيحى يكون نشط جدا بأنواع مختلفة من الكائنات التى تحجز المواد وتهضم وتحلل المواد العضوية من المياه المارة خلالها. وكذلك يستهلك فى سطح الوسط الترشيحى العلوى الطحالب الميتة، البكتريا الحية وتحجز المواد العالقة الخاملة. وقد يسبق الترشيح البطيء الترسيب الطبيعى.

٣ – مبادئ التشغيل للمرشح الرملى البطىء :

كقاعدة فان المرشح الرملى البطىء يتكون من حوض مفتوح من أعلا ويحتوى على طبقة من الرمل. عمق الحوض حوالى ٣ متر ومساحته تختلف من بضع عشرات الى بضع مئات من الأمتار المربعة. يوضع فى قاع الحوض نظام للتصريف ولحمل الوسط الترشيحى. يتكون الوسط الترشيحى من الرمل الناعم والذى يكون عادة غير مدرج ويكون خالى من الطفله ولايحتوى إلا القليل من المواد العضوية. سمك الوسط الترشيحى عادة من ١ – ١,٥ متر وترتفع المياه التى تنقى حتى ١ الى ١,٥ متر فوق الوسط الترشيحى. يجهز المرشح الرملى البطئ بعدد من مواسير الدخول والخروج للمياه مجهزه بمحابس وتجهيزات تحكم بما يحافظ على منسوب المياه فوق سطح الوسط الترشيحى وثبات معدل الترشيح شكل (٦٧). وأثناء التشغيل فإن المياه تدخل حوض الترشيح خلال المحبس (أ) وتمر خلال محبس العوامة (ب) والمياه فوق الوسط الترشيحى تمر خلال طبقة الرمل الى الصرف للمياه المرشحة التى تمر خلال مقياس للتدفق والتحكم (ف) وتتدفق الى غرفة هدار المخرج ومنها تمر المياه خلال المحبس (ج) ثم الى الحوض تجميع المياه الرائقة شكل (٦٧).

ولثبات معدل الترشيح فانه يلزم فتح محبس التحكم قليلا كل يوم لتعويض زيادة المقاومة للوسط الترشيحى نتيجة الانسداد. وعند التغير فى الطلب على المياه المرشحة يتم ضبط المحبس (ف) ببطئ خلال فترة زمنية عدة ساعات مع مراجعة معدل إنتاج المياه بقراءة مقياس التدفق. هدار المخرج يمنع حدوث الضغط على الوسط الترشيحى بما يجعل عمل المرشح مستقلا عن التغير فى منسوب المياه فى حوض المياه الرائقة. والهدار كذلك يوفر التهوية للمياه والتهوية مطلوبة كذلك للمرشح للمساعدة فى خروج الغازات التى تنطلق أو التى تنتج أثناء الترشيح. ولتسهيل انطلاق هذه الغازات فان قاع المرشح يكون بميل ١ : ٥٠٠ لأعلى فى اتجاه التدفق ولأغراض الصرف عند القيام بأعمال الإصلاح فان أرضية حوض الترشيح تميل ١: ٢٠٠ لأسفل. وعند تراكم كميات من الخبث (الطحالب الطافية كمثال) على سطح المياه أثناء الترشيح فان مخارج الخبث فى الأركان الأربع

للمرشح تكون مناسبة لانتظام ازالة المواد الطافية. وبعد فترة من التشغيل فان محبس التحكم (ف) يكون تام الفتح حيث تحدث زيادة فى مقاومة المرشح وبالتالى نقص فى معدل الترشيح، عندئذ يجب خروج المرشح من الخدمة للتنظيف.

ويجرى التنظيف بكشط طبقة الرمال العليا المحملة بالرواسب بسمك ١,٥ – ٢ سم، وذلك بعد تصريف المياه من المرشح حتى مستوى ٢٠ سم أسفل طبقة الرمال. ولبدء عملية التنظيف يقفل المحبس (أ) عادة فى نهاية اليوم بينما يستمر المرشح فى تفريغ المياه بطريقة عادية خلال المحابس (ف، ج). وفى صباح اليوم التالى يتم قفل المحابس ف، ج، والباقى من المياه فوق طبقة الرمال يتم صرفها من المحبس (س). ويتم التحكم فى الصرف بواسطة هدار، قمة هذا الهدار تظل أقل أو اكثر قليلا من منسوب الوسط الترشيحى. المياه فى الفراغات العشرين سنتيمتر العليا للرمال يتم تفريغها بواسطة المحبس (ك) لفترة زمنية صغيرة. عند انتهاء عملية التنظيف يتم قفل المحبس (س) مع إعادة ملئ المرشح ببطئ بمياه مرشحة من اسفل خلال المحبس (د) لمنسوب ١٠ سم فوق طبقة الرمال. وأثناء هذه العملية يلزم الحرص على خروج كل الهواء المحتجز فى الفراغات للوسط الترشيحى.

بعد ذلك يسمح للمياه الخام (العكرة) بالدخول من المدخل خلال المحبس (أ) مع الحرص فى عدم إتلاف الوسط الترشيحى. وينظم وضع المحبس (أ) فوق صندوق الصرف المتصل بالمحبس (س). وعند وصول المياه النظيفة والمرشح إلى المنسوب العادى والذى ينظم بواسطة محبس التحكم (ب) فأن المحبس (م) يتم فتحة كاملا وكذلك يتم فتح محبس التحكم (ف) بما يكفى تشغيل المياه النظيفة والمرشحة بحوالى ربع معدل التدفق العادى. وخلال الإثنى عشر ساعة التالية يتم الرفع التدريجى لمعدل الترشيح إلى المعدل العادى. وبعد ما لا يقل عن ١٢ ساعة أخرى ويفضل بعد ٣٦ ساعة يقفل المحبس (م) ويفتح المحبس (ج) ويعود المرشح الى التشغيل العادى. وعند إيقاف المرشح عن العمل لمدة كبيرة مثل حالات الإصلاح أو إعادة التغذية بالرمال. فإن الزمن اللازم لنضج المرشح وكفاءته تكون من ١ – ٢ يوم وقد يمتد إلى عدة أيام أخرى. وعندما يكون المرشح جديدا فان فترة الانقطاع قد تصل الى عدة أسابيع. وفى حالة توقف المرشح لمدة كبيرة فإنه يلزم

صرف المياه كاملا باستخدام المحابس (ك، ع، هـ). الطريقة التى ذكرت سابقاً للتشغيل المرشح الرملى البطيئ هناك بعض الصعوبات لتأمينها. وهى تعطى نتائج جيدة ولكن الإنشاءات معقدة. ويمكن تبسيطها وذلك عندما يكون معدل دخول المياه إلى المرشح ثابت على سطح الوسط الترشيحى لضبط معدل دخول المياه والذى يمكن تنفيذه بدون محبس تحكم الذى يعمل بالعوامة (ب). محبس (د) و(ك) يمكن أن يعملوا من محبس واحد. مهمة المحبس (ب) يمكن أن تتم بالمحبس (ج). مخارج الخبث للتخلص من المواد الطافية خاصة فى المرشحات الصغيرة وذلك عند إزالتها يدوياً.

٣ - اعتبارات التصميم للمرشح الرملي البطيء :

عند التصميم العملي للترشيح الرملي البطئ يلزم اختبار أربع عناصر وهي عمق الوسط الترشيحي، التوزيع الحجمى لرمل المرشح، معدل الترشيح، عمق المياه فوق الوسط الترشيحي. وتبنى الاعتبارات التصميميه على الخبرة من محطات المعالجة المقامة والتي تستخدم نفس المصدر المائي أو مياه ذات طبيعة مماثلة. وعند عدم توفير هذه الخبرة فأن التصميم يجب أن يبنى على نتائج الاختبارات التجريبية والتي تتم باستخدام مرشحات التجارب. وعند عدم توفير البيانات الحقيقية أو التجريبية يمكن استخدام الخطوات التالية:

أ – في المرحلة الأولى للتصميم يحدد سمك الوسط الترشيحي من ١ إلى ١,٢ متر. وهذا يكفي لأداء الوسط الترشيحي قبل الوصول إلى أدنى سمك ٠,٧ متر.

ب– يتم تحليل التوزيع الحجمي للرمال المتوفرة محليا. يتم اختبار الرمال ذات الحجم المؤثر حوالي ٠,٢ مم ومعامل تجانس أقل من ٣ (قسم ٣ باب ٤) ويمكن قبول معامل تجانس (٥) والحجم المؤثر من ٠,١٥ إلى ٠,٣٥ مم. ورمال البناء قد توفر هذه المطالب.

ج– عند التصميم الأولى يتم تثبيت عمق المياه فوق الوسط الترشيحي ما بين ١ إلى ١,٥ متر.

د – يتم إعداد ما لا يقل عن وحدتين ترشيح ويفضل ثلاثا. مع توفير مساحة من الأراضي لوحدات ترشيح إضافية.

هـ – يبنى المرشح من الخرسانة المسلحة بالشكل المستطيل والحوائط تكون عمودية بارتفاع ٣–٤ متر. مساحة المرشح عادة كبيرة فعند معدل تحميل سطحي ٠,٢ متر / الساعة لطاقة محطة سنوية ٢ مليون متر مكعب يتطلب مساحة من الوسط الترشيحي ١٣٧٠ متر مربع. مع وجود وحدة احتياط (للتنظيف) يلزم ٤ وحدات المساحة السطحية لكل منها ٤٦٠ متر مربع أو ٦ وحدات كل بمسطح ٢٧٠ متر مربع (النسبة بين أقصى معدل استهلاك ومتوسط معدل استهلاك ١,٢). ولمنع قصر المسافة على طول حائط الحوض فإن الحوائط الداخلية تكون خشنة حتى نصف سمك الوسط الترشيحي وأن تكون الحوائط مائلة قليلا للخارج بما يساعد على الالتصاق الجيد للوسط الترشيحي بحوائط المرشح ومنع حدوث قصر المسافة. كما يلزم الحذر من ارتفاع منسوب المياه الجوفية.

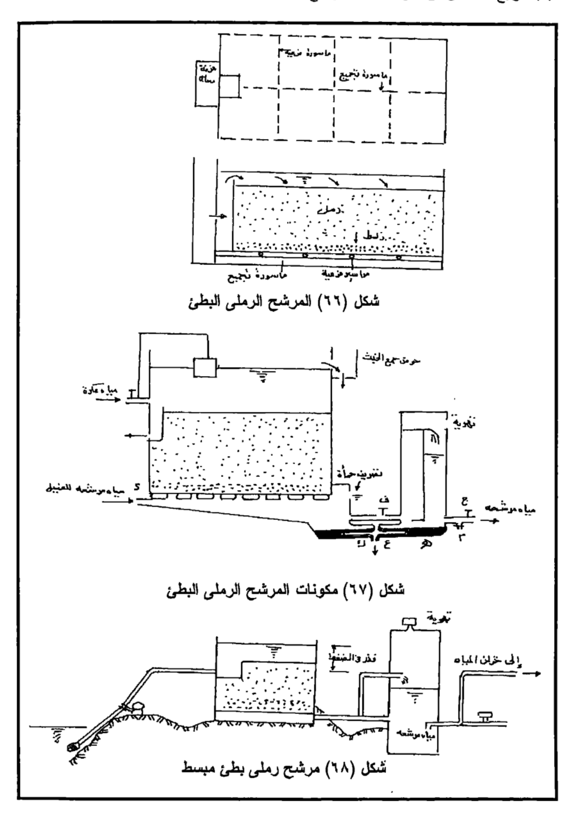
و – قاع المرشح يقوم بوظيفتين إحداهما حمل الوسط الترشيحي والآخر تصريف المياه المرشحة. مقاومة قاع المرشحات لمرور المياه المرشحة (الفقد في الضغط) يجب أن يكون صغيراً وفتحات أو ثقوب قاع المرشح تكون صغيرة لمنع مرور أي مواد منها.

كما هو موضح في الشكل (٧٢) توجد أنواع من تجهيزات قاع المرشح فتشمل الطوب المصفوف والخرسانة المثقبة المصفوفة علي دعامات خرسانية أو حديدية. ولمنع مادة الوسط الترشيحي من الدخول والانسداد لنظام التصريف تستخدم طبقة من الزلط المدرج. الطبقة السفلي من الزلط المدرج تكون كبيرة الحجم بما يحافظ علي حرية الفتحات في قاع المرشح. في حالة قاع المرشح المثقب يكفي طبقة بسمك ١٠ – ٢٠ سم أما القاع بالطوب المرصوص بالفواصل المفتوحة (١٠ مم) يلزم أربع طبقات بأحجام ٤,. – ٦,. مم، ١,٥ – ٢ مم، ٥ – ٨ مم، ١٥ – ٢٥ مم من أعلا إلي أسفل وسمك كل طبقة ١٠ سم.

وفي المرشحات الصغيرة يكون استخدام المواسير الصغيرة المثقبة الجانبية أكثر مناسبة، وهذه المواسير المثقبة تكون متصلة بتصريف رئيسى الذي يوجه المياه خارج المرشح. وتكون المواسير إما من الفخار كامل الاستدارة أو نصف استدارة أو من الزهر. والأكثر شيوعا في الإستخدام مواسير الأسبستوس والبولي إيثلين. وتوضع المواسير ذات قطر حوالي ٨٠ مم بفواصل واحد متر وتكون مثقبة بقطر ٥مم علي الجانب السفلي وبمعدل عشرة ثقوب في المتر الطولى. وماسورة التصريف الرئيسية تكون غير مثقبة وتكون مساحة مقطعها ضعف مساحة مقطع المواسير المثقبة المتصلة بها.

ز- يرتبط عمق المياه فوق الوسط الترشيحي بأقصي فقد في الضغط والذى يؤثر بالتالي علي طول دورة الترشيح، يلزم توفير فراغ فوق أقصي منسوب للمياه في المرشح بإرتفاع ٢٠ سم، وأن تكون قمة حوائط المرشح بارتفاع لا يقل عن ٨٠ سم فوق سطح الأرض للحد من وصول الملوثات. وحدات محطة الترشيح الرملي البطيء توضع في صفوف علي جانبي شريط خالى من الأرض لتسهيل التحرك لنظافة لمرشح.

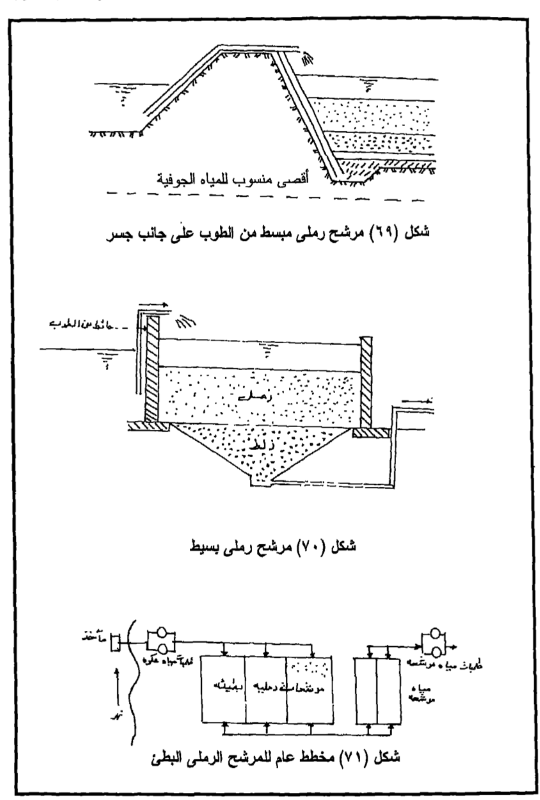
ى- يتم تنظيف المرشح بكشط السطح العلوي لطبقة الرمال بسمك ١,٥ - ٢ سم لإزالة الرمال الغير نظيفة. حيث ان الملوثات تكون بنسبة أكبر في الطبقات العليا وبنسبة أصغر في الطبقات العميقة والتي تتراكم بمعدلات صغيرة وهذا يمكن ان يسبب مشاكل في حالة إستمرار الرمال في مكانها لمدة طويلة جدا. ولذلك بعد كشط الطبقة العليا عدة مرات والوصول الي أدني سمك للوسط الترشيحي يلزم عندئذ إزالة ٣٠ سم إضافية من رمل المرشح قبل إضافة رمال جديدة. ونظراً لإحتواء الطبقة المزالة علي كل الكائنات اللازمة للأداء البيولوجي للمرشح الرملي لذلك يتم وضعها فوق الرمال الجديدة لتعجيل عملية النضج وحسن الأداء للوسط الترشيحي.



شكل (٦٦) المرشح الرملى البطئ

شكل (٦٧) مكونات المرشح الرملى البطئ

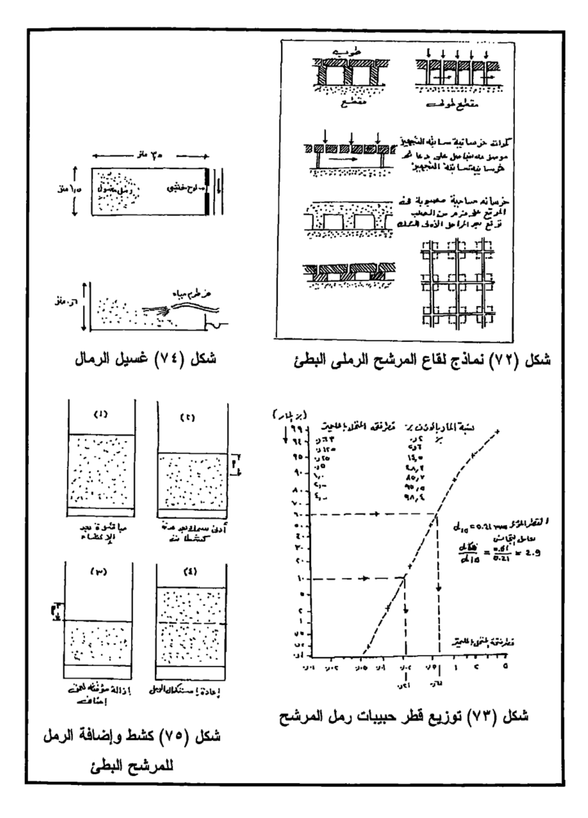
شكل (٦٨) مرشح رملى بطئ مبسط



شكل (٦٩) مرشح رملى مبسط من الطوب على جانب جسر

شكل (٧٠) مرشح رملى بسيط

شكل (٧١) مخطط عام للمرشح الرملى البطئ



شكل (٧٢) نماذج لقاع المرشح الرملي البطئ

شكل (٧٤) غسيل الرمال

شكل (٧٣) توزيع قطر حبيبات رمل المرشح

شكل (٧٥) كشط وإضافة الرمل للمرشح البطئ

القسم الثانى

الترشيح الرملى السريع

١- مقدمة :

كما سبق توضيحه بالنسبة للترشيح الرملى البطئ فإن الرمل هو المستخدم عادة كوسط ترشيحى فى الترشيح الرملى السريع ولكن هناك إختلاف فى الأداء بين الحالتين، وذلك بسبب إستخدام رمل أكثر خشونة حيث الحجم المؤثر لحبيبات الرمل يتراوح ما بين ٠,٤-١,٢ مليمتر، ومعدل الترشيح أكبر بكثير ليصل ما بين ٥ إلى ١٥م^{٣} /م^{٢}/الساعة (١٢٠-٣٦٠م^{٣}/م^{٢}/اليوم). وحسب حجم حبيبات الرمل فإن مسام الوسط الترشيحى تكون كبيرة نسبيا والأجسام العالقة فى المياه المروية سوف تخترق الوسط الترشيحى إلى عمق كبير ولذا فإن طاقة الوسط الترشيحى لاحتواء الملوثات لايكون كبيرا فى الترشيح السريع. ولتنظيف الوسط الترشيحى فإنه لايمكن كشط طبقة الرمال العليا ولذا يستخدم الغسيل العكسى لتنظيف الوسط الترشيحى، والذى يتم باستخدام تدفقات عالية من المياه فى عكس إتجاه تدفقات المرشح حيث يتمدد الوسط الترشيحى ويتم تنظيفه. وتحمل مياه الغسيل العكسى الرواسب المسببة لانسداد المرشح خارج المرشح. تنظيف المرشح السريع يمكن أن يتم بسرعة ولايستغرق أكثر من ساعة، كما يمكن أن يتم من آن لآخر طبقا للحاجة وعند الضرورة كل يوم.

٢- استخدامات الترشيح السريع :

يستخدم الترشيح السريع فى تنقية المياه لأغراض الشرب. فيستخدم فى إزالة الحديد والمنجنيز لتنقية المياه الجوفية، كما يستخدم فى تنقية المياه قليلة العكارة مثل مياه البحيرات العزبة وبعض حالات المجارى السطحية العزبة والتى تحتوى على كائنات حية دقيقة مسببة للأمراض حيث يستخدم مطهر مثل الكلور للحصول على مياه آمنة. كما يستخدم الترشيح السريع لتنقية المياه بعد معالجتها بكيماويات الترويق والترسيب شكل (٧٦).

٣- أنواع المرشحات السريعة :

تنشأ المرشحات السريعة مفتوحة حيث تتدفق المياه إلى أسفل خلال الوسط الترشيحى بالجاذبية شكل (٧٧). وفى عمليات معينة تستخدم مرشحات الضغط والمرشحات التى تعمل بالتدفقات الصاعدة (Upflow Filters) شكل (٨٠) والمرشحات متعددة الوسط الترشيحى (Multi Media).

٤- نظرية عمل المرشح السريع :

الإزالة الكاملة للملوثات من الماء فى المرشحات السريعة تتم بعده عمليات. وأهمها هى عملية الحجز (Straining)، الترسيب، العمليات البيولوجية والبكتيرية. وهذه هى نفس العمليات التى تم توضيحها فى الترشيح الرمل البطئ. ولكن فى الترشيح السريع يكون معدل الترشيح عالى جدا (حتى ٥٠ ضعف معدل الترشيح الرملى البطئ). الحجز (Straining) للملوثات فى المرشح السريع ليس هام نظرا لكبر حجم الفراغات فى الوسط الترشيحى. وكذلك الترسيب غير مؤثر نظرا للسرعة العالية للترشيح. ولذلك فإن الملوثات التى تزال بالحجز والترسيب تكون قليلة جدا مقارنة بالترشيح الرملى البطئ وخاصة فى الطبقات العليا للوسط الترشيحى والتى تكون أقل تأثيراً. ولهذا يحدث إختراق عميق للملوثات فى كل الوسط الترشيحى للمرشح السريع. واهم تأثير فى تنقية المياه فى المرشح السريع هو إدمصاص الملوثات ذات الشحنة الكهربية على حبيبات الوسط الترشيحى الذى يحمل شحنة كهربية مختلفة. فى المرشح السريع الشحنات الاستاتيكيه الطبيعية لمادة

الوسط الترشيحى تدعم بالشحنات الكهربية الديناميكية الناتجة عن معــــدل التدفــق العالى للمياه. فالشحنات الكهربية (الأيونات) على حبيبات الوسط الترشيحى تسـحب منها تاركة هذه الحبيبات حاملة شحنة موجبة (شحنة مختلفة). هذا التـــأثير الكبـير يساعد على عملية الإدمصاص فى المرشح السريع تمر المياه فى دقائق، بينما فـــى المرشح البطئ تظل المياه عدة ساعات فى الوسط الترشيحى. الملوثات العضويـــة التى تحدث انسداد تزال فى الرشح السريع بالغسيل العكسى. فرصة ووقت التحلـــل البيولوجى للمواد العضوية محدودة جدا. هذا لا يمثل عيب كبير نظرا لأن المـــواد المسببة للانسداد تزال بغسيل المرشح. ونظراً لأن النشاط البيولوجـــى والكيمـــاوى للمرشح السريع لا يكفى لإنتاج مياه آمنة بكتريولوجيا لذلك فإنه يلزم عمل معالجات تالية مثل الترشيح الرملى البطئ أو التطهير باستخدام الكلور أو أى مطـــهر آخـر لإنتاج مياه صالحة للشرب شكل (٧٩، ٨٠، ٨١).

تشغيل المرشح السريع ونظام التحكم:

٥- تشغيل المرشح السريع الذى يعمل بالجازبيه شكل (٨٣)

أثناء الترشيح تدخل المياه من المحبس (أ) وتتحرك فى اتجاه الوسط الترشـيحى وخلاله، وتمر من نظام التصريف السفلى (قاع المرشح) إلى خارج المرشح خـــلال المحبس (ب). ونظرا للانسداد التدريجى للمسام فإن مقاومة الوسط الترشيحى للمياه المتدفقة لأسفل تزداد بالتدريج، وهذا يعمل على تقليل معـــدل الترشـــيح إلا إذا تـــم تعويض ذلك برفع منسوب المياه فوق الوسط الترشيحى. أحيانا تصمم المرشـــحات السريعة للعمل بمنسوب ثابت للمياه والذى يتطلب تجهيز المرشح بالتحكم فى معـدل الترشيح سواء بالنسبة للمياه الداخلية أو فى خطوط المياه المرشحة الخارجة. أجهزة التحكم فى معدل الترشيح هذه توفر مقاومة مقاسه لتدفق المياه، وهذه تفتح بـــالتدريج آلياً لتعويض الزيادة فى مقاومة الوسط الترشيحى ولثبات ظروف التشغيل للمرشـــح السريع. وفى بعض الأحيان وبعد فترة من التشغيل فإن جهاز التحكم فـــى معـــدل الترشيح يكون مفتوحا تماما ولهذا لا يمكن تعويض الانسداد فى الوسط الترشـــيحى ويقل معدل الترشيح، وفى هذه الحالة يوقف المرشح لعمل الغسيل العكس.

ولعمل الغسيل العكس يتم قفل كلا من المحبس (أ)، (ب) وفتح المحبس (د) لصرف المياه الخام المتبقية خارج المرشح. وبعد عدة دقائق يفتح المحبس (هـ) لدخول مياه الغسيل، معدل الغسيل العكسى يجب أن يكون عاليا بما يعمل على تمدد الوسط الترشيحى وغسيل حبيبات الرمل والتخلص من الرواسب المتراكمة مع مياه الغسيل والتى يتم جمعها وصرفها. وعند انتهاء الغسيل العكس يتم قفل المحبس (د)، (هـ) وإعادة فتح المحبس (أ) للسماح للمياه لدورة الترشيح الجديدة. وفى المرشحات ذات الحبيبات الصغيرة للوسط الترشيحى فإن الغسيل الناتج عن عملية الغسيل العكسى قد لا يكون كافيا على المدى الطويل للمحافظة على نظافة الوسط الترشيحى، بما قد يتطلب عمل نظافة إضافية باستخدام الهواء والماء فى الغسيل العكسى. وهكذا اكثر تعقيدا عن الغسيل بالمياه فقط ولا يوصى به فى المرشحات الصغيرة.

نموذج آخر لتوضيح تشغيل المرشح شكل (٩٥)، شكل (٩٦).

* بداية التشغيل يمكن فتح الصمامات ٢،١ حتى ترتفع المياه فى المرشح من أسفل لأعلى وذلك لطرد الهواء بين فجوات الزلط والرمل.
* فترة التحضير : تقفل الصمامات ٢،١ وتفتح الصمامات ٤،٣ لمدة ٥- ١٥ دقيقة لتهيئه المرشح للعمل بتكوين طبقة هلامية رقيقة على سطح الرمل لتساعد فى إتمام عملية الترشيح بكفاءة.
* فترة الترشيح : يقفل الصمام ٤ ويفتح الصمام ٥،٣ وتستمر هذه الفترة ١٢ – ٣٦ ساعة حتى يصل الفاقد فى الضغط نتيجة مرور المياه فى طبقات الرمل والزلط الى حوالى ٢٥٠ سم ويكون هذا الفاقد فى البداية ٤٠ – ٦٠ سم.
* غسيل المرشح : يقفل الصمام ٥،٣ ويفتح الصمام ٧ لدخول الهواء المضغوط لمدة ٢-٣ دقيقة ويفتح الصمام ١، ٢ لمدة حوالى ٥ دقائق لدخول مياه الغسيل وتصريفها ثم تكرار الدورة بفترة التحضير ثم فترة الترشيح ثم فترة الغسيل وهكذا.

* يستخدم أحيانا للمساعدة فى غسيل المرشحات أمشاط معدنية تتحرك فى الجــزء العلوى من الرمال فتساعد على تحريك حبيبات الرمـــال واحتكاكــها ببعضـــها وتستخدم أحيانا رشاشات مياه قوية يتم توجيهها لسطح المرشح أو هواء مضغوط مع رشاشات المياه ويعتمد أختيار طريقة الغسيل على أبعاد المرشح وتصميمـــه وتشغيله.

٦ – التحكم فى الترشيح :أشكال (٨٣، ٨٤)

توجد طرق كثيرة من نظم التحكم فى معدلات الترشيح والأكثر استخداما هـــو تنظيم التحكم فى الترشيح بتساوى توزيع المياه الداخلـــة للمرشـــح علـــى وحـــدات الترشيح أو بالسحب المنتظم للمياه المرشحة (باستخدام محابس التحكم فى المنسوب، هدارات التدفق العلوى، السيفونات). النموذج الموضح فى الشكل (٨٤ – ب) بسيط لعدم وجود أجزاء متحركة، حيث تدخل المياه الى المرشح على هدار. وفـــى كـــل المرشحات تكون حافة الهدار على نفس المستوى. وقنـــاة التغذيـــة بالميـــاه الـــى المرشحات تكون بالحجم الذى يسمح بتدفق المياه بدون فقد فى الضغط. ومنســـوب المياه فيها يكون متساويا عند مدخل كل هدار، وبذا يكون معدل التدفق فـــوق كـــل هدار متساوى والتغذية بالمياه لوحدات المرشح تكون متساوية فى التوزيع.

كما يمكن التحكم فى معدل الترشيح لكل المرشحات بمعدل التغذيـــة بالميـــاه، حيث يمكن التحكم لتوفير المطالب من المياه المرشحة. ولتجنب اختلاف منســـوب المياه فى المرشحات يمكن استخدام النموذج فى الشكل (٨٤ – جـــ)، حيث يســتخدم محبس تحكم يعمل بعوامة للمحافظة على منسوب المياه فى كل مرشح. وغالباً فـــإن الترشيح السريع يستخدم لتنقية المياه التى سبق معالجتها بالمرويات وفى المروقـــات بحجز الزغبات العالقة التى لم تحجز فى المروقات أو فى أحواض الترسيب. عندئذ يلزم تجنيب تفتت هذه الزغبات ولذا فإن هدارات الدخول لا تكون مناسبة فى هـــذه الحالة. ويكون الأفضل هو استخدام النموذج (٨٤–أ) يجهز كل مرشـــح بصنـــدوق عوامة للمحافظة على ثبات منسوب المياه فى كل وحدات الترشيح باستخدام محبـس التحكم بالعوامة. وتصمم قناة خروج المياه للمحافظة على منسوب المياه فـــى كـــل مخارج المرشحات. والمعدل الكلى لإنتاج جميع المرشحات يمكن التحكم فيه بمعدل السحب للمياه المرشحة.

وعند عدم استخدام نظم التحكم فى الترشيح فإن الترشيح يتم بمعـدل ترشـيح متناقص (Declining Rate Filtration). يمكن استخدام محابس للتحكم فى المرشـح شكل (٨٥). فى هذا النظام تكون كل وحدات الترشيح على اتصال مفتوح بقنـوات دخول المياه وخروج المياه المرشحة ولذا فإن كل وحدات الترشيح تعمـل بنفس الضغط. عندئذ فإن معدل الترشيح لوحدات الترشيح سيكون مختلف، ليكون عـالى فى المرشح الذى تم حالاً تنظيفه بالغسيل العكسى وأقل بالنسبة للمرشـح ذو أعـلا دورة ترشيح. ولكل المرشحات المتصلة يحدد الإنتاج طبقا لإمدادات المياه الداخلـة، والذى سوف يكون عاليا بما يكفى الاحتياج من المياه المرشحة. أثناء الترشيح فـإن الوسط الترشيحى يحدث له انسداد تدريجى ويرتفع منسوب المياه فى كل المرشحات نتيجة زيادة مقاومة الوسط الترشيحى لتدفقات المياه. وحدة الترشيح التى اسـتمرت فى التشغيل أطول مدة تحتاج الى النظافة بالغسيل العكسى ثم يفتـح صمـام هـذه الوحدة ذات أقل مقاومة لتدفق المياه الداخلة ولذلك فإن نصيب المرشح من الميـاه الداخلة سيكون كبيرا ويقل التحميل على باقى المرشحات مؤقتا وهكذا. وفى حالـة عدم عمل إجراءات خاصة فإن معدل الترشيح بعد التنظيف مباشرة يمكن أن يكـون عاليا جدا حتى ٢٥م^{3}/م^{2}/الساعة والذى يكون أعلا بكثير عن المعدل المتوسـط ٥-٧م^{3}/م^{2}/الساعة. وعند الضرورة وللتحكم فى معدل الترشيح للمحافظة على نوعيـة المياه المرشحة يتم توفير تجهيزه إضافية لمقاومة التدفق (نافورة مثلا) مثبتة علـى خط خروج المياه المرشحة. الترشيح بالمعدل المتناقص هو العادى فى المرشـحات التى تعمل بالضغط. ونظرا لبساطته فإنه يستخدم فى المحطات الصغيرة فى الـدول النامية. يمكن تنظيم التحكم فى الترشيح والغسيل آليا شكل (٩٧)

٧- الاعتبارات التصميمية

لتصميم المرشح السريع يلزم تحديد أربعة عناصر وهى: حجم الحبيبات للوسط الترشيحى. سمك طبقة الوسط الترشيحى، عمق المياه فوق الوسط الترشيحى، معدل الترشيح. وطبقا للظروف المناخية فإن هذه العناصر تبنى علـى أسـاس الخـبره للمرشحات التى تعالج نفس النوعية من المياه أو مياه مشابه لها وعند عدم توفـير ذلك، فإن التصميم يبنى على أساس النتائج المتحصل عليها من مرشح تجريبى. هذه العناصر الأربعة مرتبطة ببعضها حيث يتأثر كلا من التحسن فـى نوعيـة الميـاه

بطول دورة الترشيح ولكن التأثير على تكاليف الإنشاء يختلف. حجم حبيبات الوسط الترشيحى وتوزيعه ليس له تأثير على التكاليف، الحجم الصغير للحبيبات يحسن من نوعية المياه المرشحة ولكنه يسبب سرعة الانسداد للوسط الترشيحى وبالتالى النقص فى زمن دورة عمل المرشح. فى حالة استخدام حبيبات الوسط الترشيحى اقل من ٠,٨ مم يلزم استخدام الهواء للتنظيف. كلما زاد سمك الوسط الترشيحى كلما تحسنت نوعية المياه المرشحة. يجب أن يكون عمق المياه فوق الوسط الترشيحى كبير بما يكفى لمنع الضغط السلبى (Negative Pressure) كلما زاد العمق لطبقة المياه كلما زادت دورة عمل المرشح واهم العوامل هو معدل الترشيح حيث بزيادته تقل نوعية المياه ودورة عمل المرشح وإن كان يقلل من التكاليف نظراً لصغر مساحة الوسط الترشيحى. وتصميم المرشح السريع يبنى على نتائج المرشح التجريبى.

٨- تنظيم الغسيل العكسى:

ينظف المرشح السريع بالغسيل العكسى وذلك بتوجيه تدفقات المياه الى أعلى خلال الوسط الترشيحى لمدة عشر دقائق. المياه المستخدمة فى الغسيل العكسى تكون مياه مرشحة مرفوعة إلى خزان علوى او مياه مرشحة من وحدة ترشيح أخرى فى التشغيل. تكون تدفقات المياه بسرعة عالية بما يكفى لحدوث تمدد فى الوسط الترشيحى وبما يمكن المواد المسببة للانسداد من التفكك وحملها بمياه الغسيل العكس. لإعطاء ٢٠% تمدد موضح فى جدول (١١) التالى.

الجدول (١١)

متوسط قطر حبيبات الرمل(مم)	٠,٤	٠,٥	٠,٦	٠,٧	٠,٨	٠,٩	١,٠	١,١	١,٢
درجة حرارة	معدل التدفق للغسيل م٣ / م٢ / الساعة								
١٠°م	١٢	١٧	٢٢	٢٩	٣٤	٤٠	٥٧	٥٤	٦٢
٢٠°م	١٤	٢٠	٢٦	٣٣	٤٠	٤٨	٥٦	٦٤	٧٣
٣٠°م	١٦	٢٣	٣٠	٣٨	٤٧	٥٦	٦٥	٧٥	٨٦

وعند استخدام الضخ لرفع المياه للغسيل العكسى يستخدم عادة ثلاث مضخات واحدة منهم احتياط ومضختين فى التشغيل ويكفى مضختين للمحطات الصغيرة. يكون من المناسب استخدام خزان علوى لمياه الغسيل العكسى شكل (٨٥) ويملأ بطلمبات صغيرة فى الفترات بين الغسيل العكسى، ويكون مستواه من ٤-٦ متر فوق منسوب المياه فى المرشح. لفتح المياه الى خزان مياه الغسيل العكسى يستخدم عادة ثلاث فتحات (واحد إحتياط) وتكون الطاقة الإجمالية للفتحتين فى التشغيل ١٠-٢٠% من معدل الإمداد بمياه الغسيل. وفى حالة عدم إستخدام خزان مياه الغسيل وأخذ المياه من حوض المياه المرشحة فإن هذا يسبب اضطراب فى شبكة التوزيع ويسبب الإمداد المنقطع للمياه. والبديل الأسهل هو زيادة عمق المياه فوق الوسط الترشيحى للحد من أقصى مقاومة للوسط الترشيحى. يكون عمق المياه المرشحة فوق الوسط الترشيحى من ١,٥-٢ متر. وحدات الترشيح العاملة فى محطة الترشيح يجب ان تكون قادرة على توفير هذا الكم من المياه لمعدل الغسيل العكسى. محطة الترشيح السريع التى تستخدم هذا النظام فى الغسيل العكسى يجب أن يكون بها ما لا يقل عن ستة مرشحات.

وعند دفع مياه الغسيل من أسفل الوسط الترشيحى خلال نظام الصرف السفلى فى قاع المرشح ولتوزيع مياه الغسيل بالتساوى على كل مساحة الوسط الترشيحى فإن نظام الصرف السفلى يجب أن يوفر المقاومة الكافية لمرور مياه الغسيل (عادة من ٠,٦ إلى واحد / متر ضغط ماء). عادة يكون نظام الصرف السفلى من مواسير مثقبة من أسفل بقطر حوالى ١٠مم من الاسيستوس أو البلاستك القوى ولمنع دخول مواد الوسط الترشيحى من دخول الثقوب فإن الوسط الترشيحى يحمل على مادة خشنة (الزلط) والتى لا تتأثر بمياه الغسيل العكس المنبثقة من الثقوب السفلية. فثملا فى حالة رمل الترشيح بالحجم المؤثر (Effective. Size) من ٠,٧ الى ١ مليمتر فإنه يحتاج إلى ٤ طبقات من الزلط من أعلى إلى أسفل ١٥سم (٢-٢,٨مم)، ١٠سم (٥,٦-٨ مم)، ١٠ سم (١٦-٢٣مم)، ٢٠سم (٣٨-٥٤مم) العمق الكلى لطبقات الزلط يكون ٥٥ سم.

بعد مرور المياه المرشحة للوسط الترشيحى حاملة الملوثات فإنها تجمع وتصرف فى أحواض مياه الغسيل. المسافة الأفقية التى تقطعها مياه الغسيل الى حوض تجميع يجب أن تكون محدودة بحوالى ١,٥ –٢,٥ متر. توضع أحواض تجميع مياه الغسيل لتكون قمتها على مستوى من ٥٠ – ٦٠ سم فوق منسوب الوسط الترشيحى قبل التمدد، ومساحة مقطعها تتوافق مع نهاية الصرف للحوض ويكون عمق المياه جاهز للصرف شكل (٨٦). الجدول (١٢) يوضح معدل التدفق لمياه الغسيل (q) وعلاقته بعمق التدفق لمياه الغسيل (H) وعرض حوض مياه الغسيل (b) وطاقة الأحواض فى.

جدول (١٢) استيعاب مياه الغسيل (لتر / ثانية).

H عمق تدفقات مياه الغسيل فى الحوض	عرض الحوض (b)		
	٢٥سم	٣٥سم	٤٥سم
٢٥سم	٣٠ل/ت	٤٠ل/ت	٢٥ ل /ت
٣٥سم	٣٥ل/ت	٧٥ل/ت	٩٦/ت
٤٥سم	٨٢ل/ت	١١٥ل/ت	١٤٨ل/ت

يمكن وضع أحواض الغسيل بطرق مختلفة، بعض نماذج أحواض الغسيل شكل (٨٧).

عند استخدام الرمال الناعمة ذات قطر حبيبات أقل من ٠,٨ مم، فإن قدرة الغسيل لتدفقات المياه الصاعدة قد لا تكون كافية للمحافظة على نظافة حبيبات الرمل مع مضى الوقت. وبعد وقت ما يمكن أن تغطى الحبيبات بطبقة لزجة من المواد العضوية، بما يسبب مشاكل مثل كرات الطين وشقوق فى المرشح. ويمكن منع هذه السلبيات بتوفير الهواء المضغوط فى الغسيل العكسى بمعدل ٣٠–٥٠ متر مكعب فى الساعة مع الماء بمعدل ١٠–١٥ متر مكعب فى الساعة، وهذا يزيل الغطاء اللزج على سطح الحبيبات. وعند عمل الغسيل العكسى بالهواء يلزم توفير

شبكة مواسير منفصلة الشكل (٨٨) يوضح أحد النماذج الشكل (٨٩) يوضح تنظيم التغذية بالهواء والماء للغسيل العكسى. يبدأ الغسيل العكسى بتدفق المياه من الغرفة رقم (١) الى الغرفة رقم (٢)، الهواء الغرفة رقم (٢) يضغط ليقوم بتنظيف المرشح. يستخدم الماء المتجمع فى الغرفة (٢) فى تنظيف المرشح شكل (٩٠).

٩- المخطط العام لمحطة معالجة مياه الشرب بالمرشحات السريعة : أشكال (٩١، ٩٣)

محطة المعالجة بالمرشحات السريع تتكون من وحدات ترشيح (لا تقل عن وحدتين) مساحة كل واحدة (A). عند وجود أحد المرشحات خارج الخدمة للغسيل، فإن باقى الوحدات يجب أن تكون قادرة على توفير طاقة المياه المرشحة (Q) بمعدل الترشيح المطلوب (r). ويعبر عن ذلك بالمعادلة $Q=(n-l)\,A\,r$ حيث n هو عدد المرشحات. وفى التصميم التجريبى فإن مساحة وحدة الترشيح (A) بالمتر المربع يمكن تقديرها بـ ٣,٥ ضعف عدد وحدات الترشيح. ومن الناحية الاقتصادية فإن وحدات الترشيح يجب أن توضح فى مجموعات متلاصقة مع مواسير دخول وخروج المياه، وكذلك خطوط التغذية بالكيماويات تكون قصيرة ما أمكن. يجب الأخذ فى الاعتبار التوسعات المستقبلية للمحطة كمثال شكل (٩١). والخدمات العامة مثل طلمبات مياه الغسيل والتغذية بالكيماويات والمكاتب وغرف التخزين، تدوال الكيماويات وتخزينها والمرافق الصحية توضع فى مبنى فى الوسط بينما على الأجناب توضح وحدات الترشيح المختلفة على جانب أو جانبين من ممر ذو مستويين المستوى العلوى يكون للتشغيل والسفلى لمجرى المياه. مخطط عام لتشغيل المرشح السريع شكل (٩٥، ٩٦، ٩٧) شكل ٩٨ الذى يعمل آليا و شكل (٩٧) الذى يعمل بنظام الغسيل الآلى.

الإنشاءات:

كما سبق شرحه فإن المرشح السريع يتكون من حوض من الخرسانة المسلحة يحتوى على نظام صرف سفلى والوسط الترشيحى والمياه فوق الوسط الترشيحى ويكون الحوض مستطيل بحوائط عمودية. وتصميم المنشأ الخرسانى يتم طبقا

للقواعد العامة مع الأخذ فى الاعتبار أن يكون مانعا لنفاذ المياه. توضع أسياخ حديد التسليح بعيده عن بعضها بما يسمح بإحاطتها كاملا بالخرسانة. يقسم المنشأ الى عدد من القطع المستقلة (Lndividual- Sections) مربوطة بوصلات تمدد مانعـــة لنفـــاذ المياه. وتكون الخلطة الخرسانية وعملية خلط الخرسانة تحقق عدم التفاذيه للمياه مع أدنى انكماش نتيجة جفاف الخرسانة ولا يتم الدهان بـــالجبس. ولا يتـــم التشـــطيب الجيد. ولمنع قصر المسافة على جدار المرشح (Short Circuiting) توضع ألـــواح خشبية أفقية ليست متطابقة من المنظور الرأسى فى مواجهـــة الوســط الترشـــيحى ومثبتة فى الجدار الداخلى للمرشح. يوضح المرشح بعيداً عن منسوب المياه الجوفية وعند الضرورة فوق أرض مرتفعة.

أسهل طريقة لعمل نظام الصرف السفلى لتحقيق التوزيـــع المتســاوى لميـــاه الغسيل على كل الجانب السفلى للوسط الترشيحى هو باستخدام المواسير المثقبـــة أو باستخدام قطع خرسانية سابقة التجهيز ٦٠سم ×٦٠سم وتجهيز هذه القطع بثقـــوب بمعدل ٦٠ ثقب فى المتر المربع توضح فيها الفني (Strainers) كما فـــي الشـــكل (٩٢). الفني من البلاستيك الذي يتحمل الوسط الترشيحي، وفتحات الفنـــي ضيقـــة حوالي ٠,٥ مم بما يوفر مرور المياه وحسن توزيعها. وفي هذه الحالة يمكن وضـــع رمل المرشح فوق قاع المرشح مباشرة مع الفني مع عدم الحاجة الي طبقة الزلـــط تحت رمال المرشح. ولمنع التصنيف الهيدروليكي أثناء الغسيل العكسي والذي يدفع بالحبيبات الناعمة إلـــي أعلي والحبيبات الكبيرة الي قاع الوسط الترشيحي. لذلـــك فإن الرمال في الوسط الترشيحي يجب ان يكون منتظم في الحجم كلما أمكن ويجـب أن يكون معامل التجانس للرمل أقل من ١,٧ ليكون حوالي ١,٣ والمفضـــل هـــو وضع طبقة من الزلط بارتفاع ٤٠ سم وبتدرج فـــي الحجـــم بيـــن ٢٠ - ٤٠ مـــم وتوضع فوق الأنابيب (الفني) وفوق الزلط طبقة الرمل التي يتم الترشيح خلالها.

١٠- المرشحات التى تعمل بالضغط: (Pressure Filters)

شكل (٩٩):

المرشحات الرملية التى تعمل بالضغط عبارة عن هيكـــل أســـطوانى يتحمـــل ضغط داخلى أكبر من ٢ جوى يوضع بداخلة مواد الترشيح مثل الرمل ويســـــتخدم

هذا النوع على نطاق واسع فى الترشيح للتصرفات الصغيرة ولترشيح مياه حمامات السباحة بوجه خاص. ويختبر الهيكل الأسطوانى للمرشح على ضغط لا يقل عن ضعف ضغط التشغيل.

يفضل إلا يزيد معدل الترشيح لهذا النوع من المرشحات عن ٢٤٠ متر مكعب فى اليوم لكل متر مربع من سطح المرشح وتكون هذه المرشحات إما رأسية أو أفقية من حيث محور الهيكل الأسطوانى للمرشح إلا أن سريان المياه فى كلا النوعين يكون رأسيا ومن أعلى لأسفل. يكون الهيكل الأسطوانى للمرشح عادة من الصلب المقاوم للصدأ ويكون قطر المرشح من ٥٠ – ٢٦٠ سم وطوله أو ارتفاعه من ١٠٠ – إلى ٧٥٠ سم والأحجام المستخدمة بكثرة تكون عادة بالتصرفات الآتية:

٥ – ١٠ – ٢٠ – ٣٠ – ٦٠ – ١٠٠ – ١٥٠ متر مكعب فى الساعة وفى أى الأحوال يفضل إستخدام مرشحين على الأقل فى عملية المعالجة للمياه لمواجهة أى أعطال أو مشاكل فى التشغيل وبين الشكل (٩٨) رسما توضيحيا لهذا النوع من المرشحات.

القسم الثالث

مواد الترشيح

مقدمة :

مواد الترشيح مثل رمل السيليكا أو الفحم البناتى وكذلك الزلط الحامل لمواد الترشيح يجب أن يتم استخراجهم من مناجم مستخدمة بانتظام للحصول على مواد الترشيح لتنقية المياه. الوسط الترشيحى هو المواد التى تزيل الجسيمات العالقة من الماء أثناء عملية الترشيح ومن هذه المواد الأنثراثيت (الفحم البناتى) ورمل السيليكا، الزلط. وتستخدم حبيبات الأنثراثيت (الفحم المنشط) للترشيح والأدمصاص. يحدد العمق للوسط الترشيحى وحجم الحبيبات فى المرشح بواسطة المصمم حيث يؤخذ فى الإعتبار حالة المياه العكرة ومدى المعالجة بالكيماويات. فى حالة الوسط الترشيحى الخشن فإنة يسمح بدورات ترشيح أطول عن الوسط الترشيحى الناعم عند معدل معين للترشيح. تتحسن الإزالة للمواد العالقة مع زيادة عمق الوسط الترشيحى أو صغر حجم الحبيبات أو كليهما. عند إستخدام حبيبات الفحم المنشط فى الوسط الترشيحى فإن حجم الحبيبات الفحم يتوقف على الحجم والكثافة النوعية للرمل أو أى مادة أسفل طبقة حبيبات الفحم المنشط. فى حالة صغر حجم حبيبات الفحم يحدث فقد أثناء الغسيل لتنظيف الرمل وفى حالة كبر حبيبات الفحم أكثر من اللازم يحدث خلط بين المادتين فى منطقة التقابل. يستخدم

الوسط الترشيحى عالى الكثافة مثــل العقيــق (Garnet) أو الإلمنيــت (ELminite) لزيـــادة الإزالة للمواد العالقة وزيادة معدلات الترشيح وهذا الوسط عـــالى الكثافـــة يظل كطبقة تحت طبقة الرمل لاختلاف الكثافة وحجم الحبيبات وبنفس الطريقة فـإن رمل السيليكا يظل منفصلا عن طبقة الفحم فوقه فى الوسط الترشــيحى المــزدوج. العقيق هو تسمية لمواد مختلفة وهى سيليكا الحديد والألومنيوم والكالسيوم أو خـــام الكروم والألمينت (Elminite).

١- تعاريف :-

أ - القطر المؤثر (الفعال) (Effective Size)

القطر الفعال للرمل هو فتحة المنخل بالمليمتر التى تسمح بمرور ١٠% مـــن وزن عينة الرمل الممثلة للوسط الترشيحى أو بمعنى أخر بأنة فتحة المنخــل التــى تحجز ٩٠% الوزن من عينة الرمل بصرف النظر عن التدرج الحبيبى للرمل فـــإذا كان ١٠% من وزن عينة الرمل ذات قطر أقل من ٠,٤٥ مم فـــإن مـــادة الوســـط الترشيحى لها قطر مؤثر ٠,٤٥ مم.

ب- معامل التجانس : (Uniformity Coefficient)

معامل التجانس يعبر عن درجة التغير فى قطر الرمل وهو عبارة عن النســبة بين فتحة النحل التى يمر من خلالها ٦٠% من وزن الرمل والقطـــر الفعـــال (أو المؤثر) فعلى سبيل المثال إذا كانت فتحة المنخل التى يمر من خلالـــها ٦٠% مـــن وزن الرمل هى ٠,٧ مم وكان القطر الفعال للرمل هـــو ٠,٣٥ مـــم فـــإن معـــامل التجانس يكون ٠,٧ ÷ ٠,٣٥ = ٢.

(١) الرمل المستخدم فى المرشحات الرملية البطيئة يكون القطر الفعال من ٠,٣ إلى ٠,٣٥ ويكون معامل التجانس من ١,٧٥ إلى ٢.

(٢) الرمال المستخدمة فى المرشحات الرملية السريعة يكون القطـــر الفعـــال مـــن ٠,٣٥إلى ٠,٥ مم ويفضل ألا يزيد معامل التجـــانس عـــن ١,٦٥. وبالنســـبة

لحبيبات الفحم المنشط فإن القطر المؤثر ما بين ٠,٦٥ مم ال ١ مم ومعامل التجانس ١,٨٥.

٣- استخدام الفحم المنشط في عمليات الترشيح

تستخدم عادة حبيبات الفحم المنشط او بودرة الفحم المنشط لإزالة المواد العضوية المذابة واللون والمواد المسببة للطعم والرائحة فى معالجات المياه. وعموما فإن المركبات ذات الوزن الجزئي العالى والمواد الغير متأينة تمتز أكثر من المواد العضوية ذات الوزن الجزئي المنخفض والمواد المتأينة.

وتستخدم بودرة الفحم المنشط عادة لمعالجة مشاكل المذاق والرائحة الموجودة فى مصادر المياه السطحية والتى تتغير نوعيتها موسميا وذلك فى محطات المعالجة التقليدية أما بالخلط السريع مع المياه من المآخذ أو مع المياه الداخلة الى حوض الترويب أو المياه الداخلة إلى المرشح. وتتوقف مناسبة مكان الاستخدام على القدرة على الخلط المناسب مع المياه وكذلك إعطاء الوقت اللازم للإدمصاص للملوثات وكذلك التقليل من التدخل مع الكيماويات الأخرى المستخدمه فى المعالجة والقدرة على عدم التغير فى نوعية المياه المعالجة لوجود حبيبات بودرة الفحم المنشط. الجرعة العادية هى من ١-٥٠ مليجرام/لتر.

معالجة المياه بحبيبات الفحم المنشط مكلف عن بودرة الفحم المنشط إلا أن حبيبات الفحم اكثر فاعلية فى إزالة الملوثات من الكيماويات العضوية الكثيرة التى تؤثر على المذاق والرائحة والمواد العضوية الكلية والترايهالوميثان والكيماويات العضوية المتطايرة والملوثات من الكيماويات العضوية المخلقة. تتأثر كفاءة حبيبات الفحم المنشط بمواقع الاستخدام فى مراحل المعالجة. فالمعالجة المسبقة يمكن أن تقلل من الحمل العضوى على حبيبات الفحم المنشط وتزيل المواد الصلبة العالقة التى يمكن أن تتدخل فى عملية الادمصاص / أو تسبب انسداد هيدروليكى.

عملية الادمصاص بواسطة حبيبات الفحم المنشط مكلفة نسبياً وخاصة أن تكاليف التنشيط الحرارى مكلف. يمكن عمل التنشيط الحراري فى الموقع. وفى وحدات المعالجة الصغيرة يتم التخلص من حبيبات الفحم النشط بعد استخدامها

واستبدالها حيث يعتبر ذلك أكثر وفرة. ويتم التنشيط بإستخدام مـــواد حامضيـــة أو قلوية أو مذيبة للشوائب على حبيبات الفحم المنشط وبعد إنتهاء عملية التنشيط يتـــم تصريف ما بقى من محلول من طبقة حبيبات الفحم ثم تنظيفه بالماء المرشح وإعادة استخدامه أما التنشيط الحرارى لحبيبات الفحم فيتم على ثلاثة مراحل:

(١) التجفيف عند درجة حرارة ١٠٠ْم لمدة ١٥ ق لتجفيف حبيبات الفحم مما علـق بها من مياه.

(٢) التحلل الحرارى للمركبات العضوية الممتزه فى حبيبات الفحم وذلك عند درجة حرارة ٨٠٠ْ م لمدة ٥ دقائق حيث تتطاير المواد العضوية.

(٣) التنشيط عند درجة حرارة أعلا من ٨٠٠ْ م لمدة ١٠ دقائق لأكسدة الشـــوائب المتبقية حيث تصبح حبيبات الفحم منشطة فى النهاية بين الشكل (١٠٠) نموذج لمرشح تستخدم فيه حبيبات الفحم المنشط.

٣- وضع الوسط الترشيحى :

أ - يتم نظافة الجسم الداخلى للمرشح قبل البدء فى وضـــع مـــواد الترشـــيح مـــع المحافظة على إستمرار النظافة طوال فترة وضع مواد الترشيح وقبل وضع أى مادة يتم تعليم أعلى منسوب لكل طبقة على السطح الداخلى للمرشح.

ب- يتم تشوين كل مادة ترشيح منفصلا مع المحافظة عليها من التلوث.

جـ - الطبقة السفلى من الزلط توضح بعناية لتجنب تلف نظام التصريف الســـفلى والزلط فى القاع يجب أن يكون خشنا بما يوفر منعة مـــن الحركـــة بواســـطة نافورات المياه الخارجة من فتحات نظام التصريف السفلى. أدنى حجم لحبيبات الزلط للطبقة السفلى فى القاع يجب أن يكون من ٢-٣ ضعف حجـــم فتحـــات التصريف وسمك كل طبقة من الزلط يجب ألا يقل عن ثلاث أضعاف أقصـــى حجم لحبة الزلط فى الطبقة ولا يقل عن ٣ بوصة.

فى حالة عدم انتظام قاع التصريف السفلى كما فى حالة فرعـــات المواســـير للتصريف فإن الطبقة السفلى يجب أن تحيط وتغطى مواسير الصرف مـــع توفـــير

سطح منتظم للطبقة الزلطية والتى توضح فوقها الطبقة الزلطية التالية. فـــى حالـــة وضع الزلط فإن العمالة يجب أن لا تقف أو تتحرك مباشرة فوق مادة الترشيح بـــل يتم الوقوف والحركة على سقالات أو ألواح خشبية تتحمل أوزانهم بــــدون إزاحـــة لمادة الترشيح.

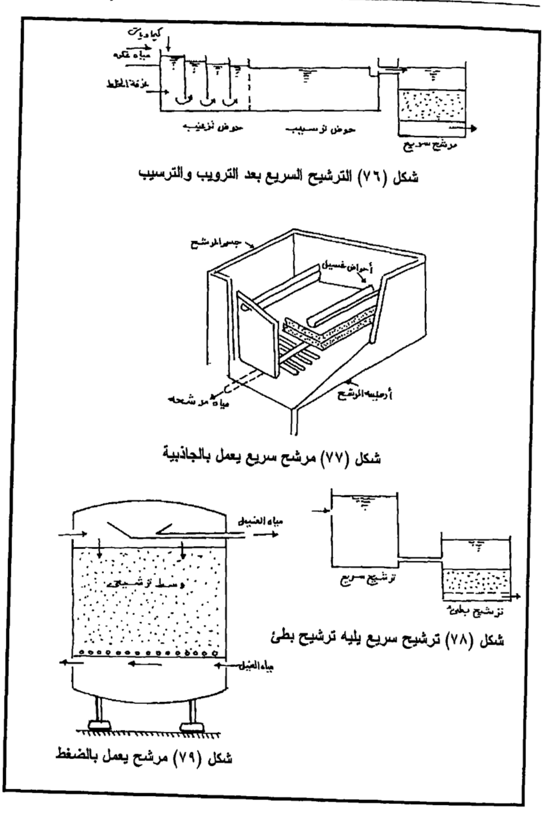
يتم إكمال كل طبقة قبل البدء فى الطبقة التالية توضع كل طبقة بسمك محـــــدد ومنتظم مع تسوية سطحها العلوى ومحاذاته مع العلامات علـــى الســـطح الداخلـــى للمرشح. عند وضع الطبقة التالية يراعى أحداث تداخل مع الطبقة السفلى.

* بالنسبة لرمل الترشيح أو حبيبات الفحم الذى يوضع بالطريقة الرطبة فإن المـــادة توضع خلال الماء ثم يتم الغسيل العكسى للتسوية ولمواجهة التمدد الأولى للطبقة نتيجة تفكك الحبيبات فإن منسوب السطح العلوى قبل الغسيل الأولـــى يجـــب أن يكون أسفل المنسوب النهائى بنسبة ١٠% من سمك الطبقة. منســـوب الســـطح العلوى لكل طبقة يتم مراجعته على المرشح بالماء إلى المنسوب الذى تم تحديـده مسبقا داخل سطح المرشح.
* بعد وضع كل طبقات الزلط وقبل وضع طبقات الرمل أو طبقات حبيبات الفحـــم يتم غسيل المرشح لمدة ٥ دقائق بأعلى معدل وبما لا يزيد عن ٢٥ جالون فـــى الدقيقة / القدم المربع من مساحة سطح المرشح ويمكن إلغاء هذا فى حالة عـــدم وجود أجسام غريبة أو ملوثات.
* فى المرشحات ذات الوسط الترشيحى المزدوج أو الثلاثى فإن كل مادة يتم غسلها وكشطها لإزالة الأجسام الصغيرة قبل وضع الطبقة التاليـــة مـــع ملاحظـــة أن السطح العلوى لمادة الترشيح وبعد الغسيل الأولى يلزم أن يكون منسوبها أعلـــى من المنسوب المحدد بما يعادل سمك الطبقة المزالة بالكشط.

الغسيل الأولى :

بعد وضع كل مواد الترشيح يتم إدخال مياه الغسيل ببطيء لأعلى من نظـــام التصريف السفلى حتى غمر كل الوسط الترشيحى ويتم مكوث المياه لتشبع الوســـط الترشيحى لمدة لا تقل عن ١٢ ساعة ويتم التدرج فى معدل الغسيل بغرض طـــرد

الهواء من الوسط الترشيحى. بعد الغسيل الأولى يتم تصريف المياه من المرشح ثـم يتم إزالة طبقة من الأجسام الصغيرة حوالى ٤-٥ من سطح المرشح بالكشـط يتـم غسيل المرشح ما لا يقل عن ثلاث مرات لكل مرة لا تقل عن ٥ دقائق وأن يكـون الغسيل متزامنا مع تشغيل مرشح أخر لتوفير مياه الغسيل. بعـد تنفيـذ الخطـوات السابقة يتم تطهير الوسط الترشيحى بالكلور بجرعة عالية ٢٠جزء فى المليـون أو أن يتم التطهير بإضافة هذه الجرعة إلى مياه الغسيل الأولى.

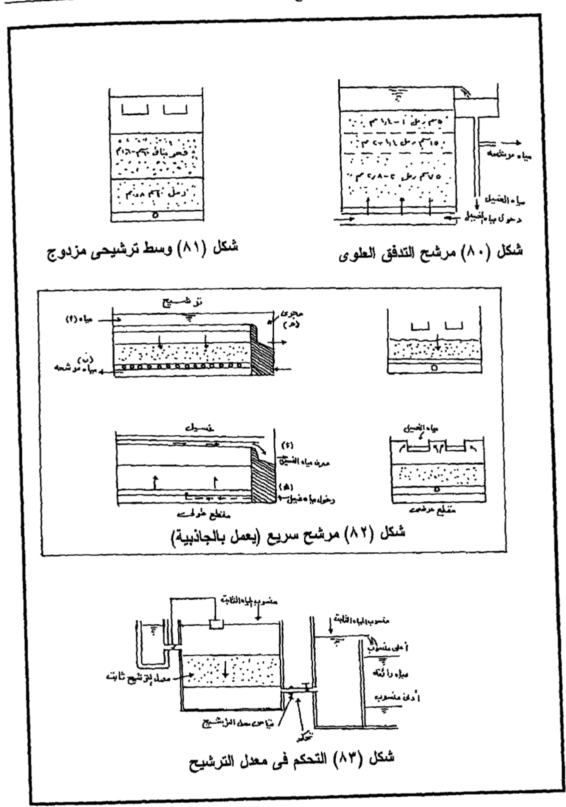


شكل (٧٦) الترشيح السريع بعد الترويب والترسيب

شكل (٧٧) مرشح سريع يعمل بالجاذبية

شكل (٧٨) ترشيح سريع يليه ترشيح بطئ

شكل (٧٩) مرشح يعمل بالضغط

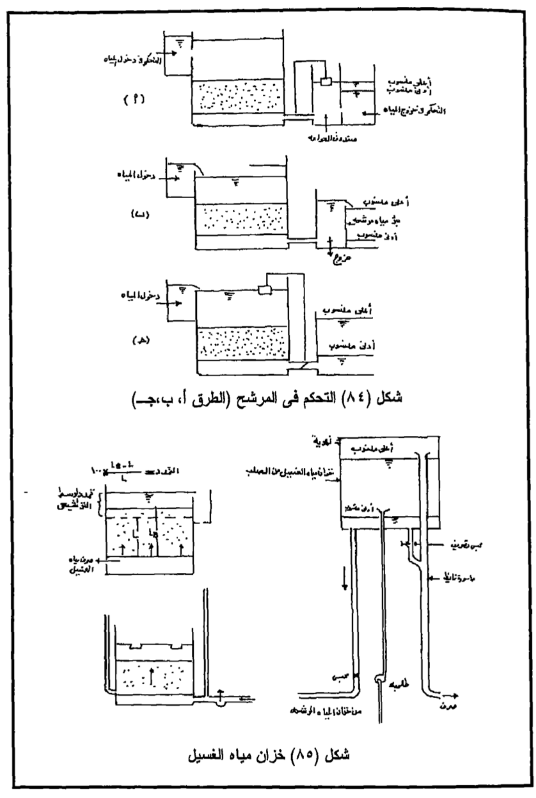


شكل (٨٠) مرشح التدفق العلوى

شكل (٨١) وسط ترشيحى مزدوج

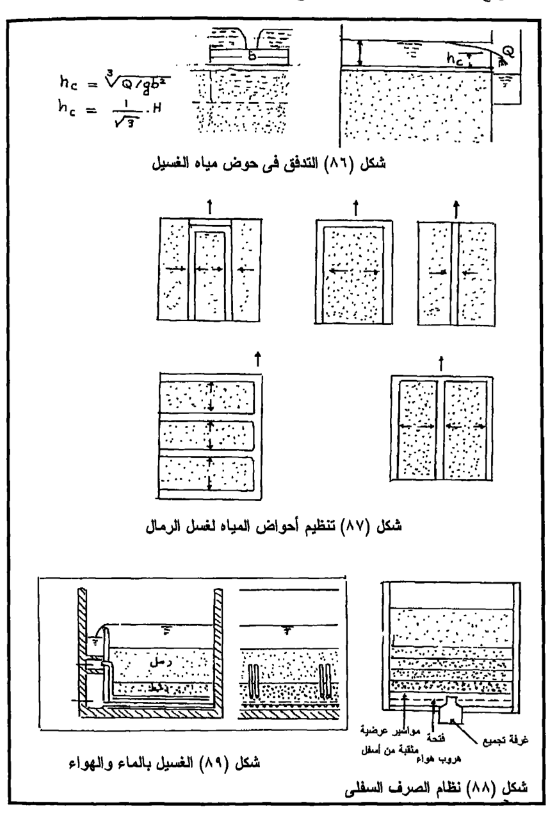
شكل (٨٢) مرشح سريع (يعمل بالجاذبية)

شكل (٨٣) التحكم فى معدل الترشيح



شكل (٨٤) التحكم فى المرشح (الطرق أ، ب،جـ)

شكل (٨٥) خزان مياه الغسيل

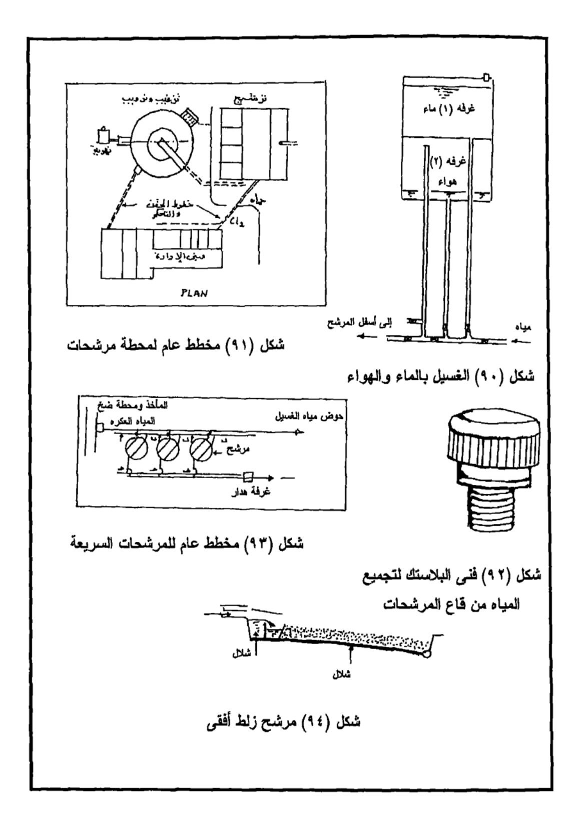


شكل (٨٦) التدفق فى حوض مياه الغسيل

شكل (٨٧) تنظيم أحواض المياه لغسل الرمال

شكل (٨٩) الغسيل بالماء والهواء

شكل (٨٨) نظام الصرف السفلى



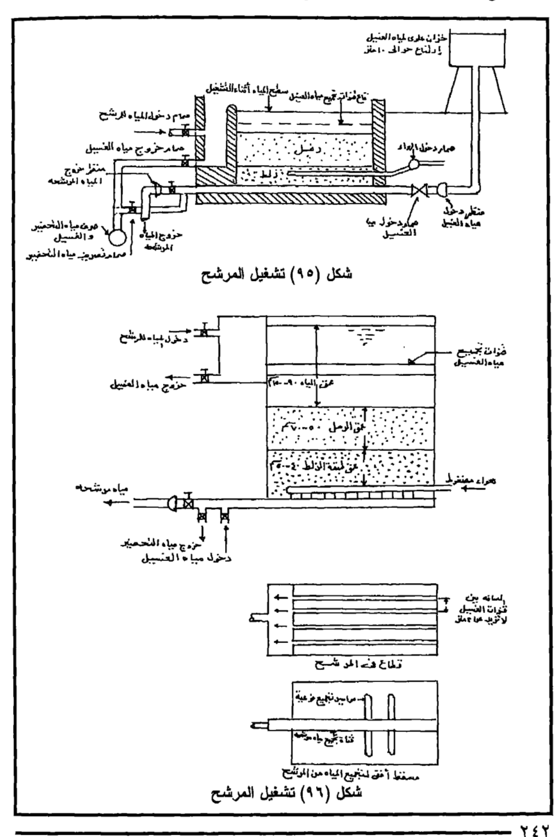
شكل (٩٠) الغسيل بالماء والهواء

شكل (٩١) مخطط عام لمحطة مرشحات

شكل (٩٢) فنى البلاستك لتجميع المياه من قاع المرشحات

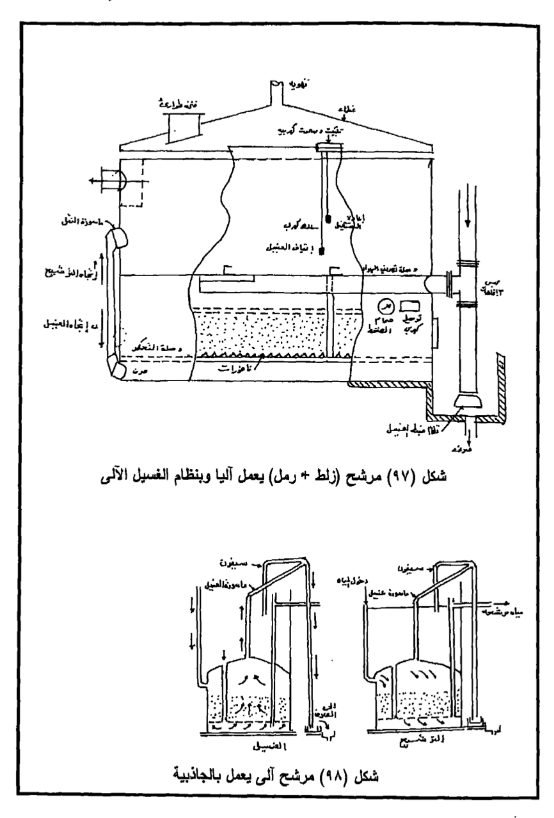
شكل (٩٣) مخطط عام للمرشحات السريعة

شكل (٩٤) مرشح زلط أفقى



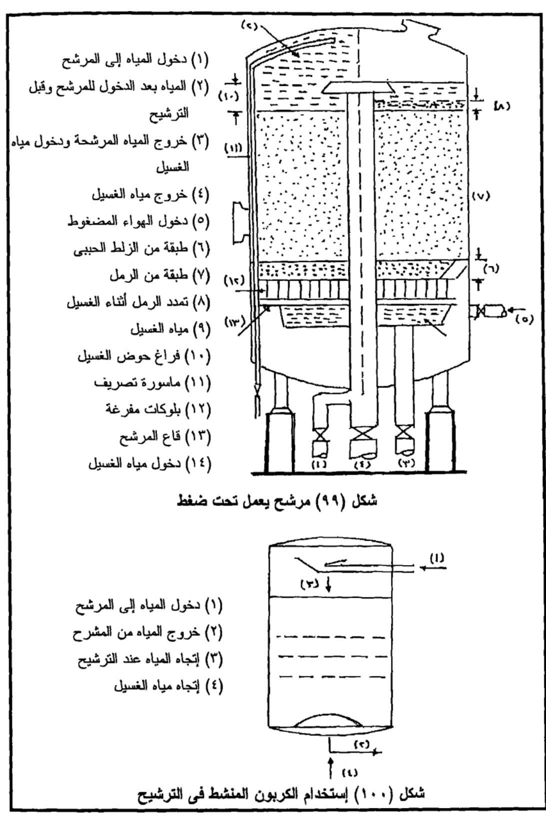
شكل (٩٥) تشغيل المرشح

شكل (٩٦) تشغيل المرشح



شكل (٩٧) مرشح (زلط + رمل) يعمل آليا وبنظام الغسيل الآلى

شكل (٩٨) مرشح آلى يعمل بالجاذبية



شكل (٩٩) مرشح يعمل تحت ضغط

شكل (١٠٠) إستخدام الكربون المنشط فى الترشيح

الباب الخامس

المعالجات الخاصة

الباب الخامس

المعالجات الخاصة

القسم الأول

إزالـــة العســـر

(Hardness Removal or Softening)

عسر المياه هو الخاصية التى تمنع تكون الرغوة عند استخدام الصـــابون بمـــا يزيـــد من استهلاك الصابون عند استخدام المياه العسر. كذلك توجد علاقـــة بيـــن عسر المياه و امراض القلب. حيث قيمة العسر فـــى الميـــاه لأغـــراض الشـــرب والاستخدام المنزلى هى ٨٥ جزء فى المليون. الطرق الأساسية لإزالة عسر الميـــاه هى بالترسيب الكيماوى أو بالتبادل الأيونى.

- الترسيب الكيماوى:

يستخدم الترسيب الكيماوى فى معالجة المياه لإزالة العســـر ولإزالـــة الحديـــد والمنجنيز. وهو مؤثر كذلك فى ازالة المعادن الثقيلة والعناصر المشعة فـــى حالـــة وجودها وكذلك ازالة المواد العضوية المذابة وخفض البكتريا والفيروسات.

عسر المياه يكون غالبا يسبب وجود مركبات الكالسيوم والمغنيسيوم المذاب فى المياه. وبعض العسر يرجع إلى وجود الاسترنشيوم والحديد والمنجنيز. وهذه العناصر تكون موجودة فى شكل البيكربونات والكبريتات. وفى بعض المياه توجد فى شكل الكلوريدات والنترات.

ويسمى العسر بعسر الكربونات فى حالة وجود أملاح العسر فى شكل البيكربونات أما عسر الغير كربونات فتكون هذه الأملاح فى شكل الكلوريدات أو الكبريتات أو النترات. وكذلك يسمى عسر الكربونات بالعسر المؤقت وعسر الغير كربونات بالعسر المستديم.

* عند إضافة الجير المطفى إلى الماء المحتوى على عسر مؤقت تحدث التفاعلات التالية :

$$Mg(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 \longrightarrow CaCO_3 \downarrow + Mg(OH)_2 \downarrow$$

$$Ca(HCO)_2 + Ca(OH)_2 \longrightarrow 2CaCO_3 \downarrow + 2H_2O$$

كلا من كربونات الكالسيوم وايدروكسيد المغنيسيوم لا يذوب ويرسب.

تستخدم هذه الطريقة فقط فى ازالة أو تقليل عسر المياه المؤقت وخاصة فى حالة تخفيض عسر المياه فى مياه الشرب ليكون ٨٥-١٢٠ جزء فى المليون مقيم ككربونات كالسيوم. أما فى حالة وجود العسر المؤقت والعسر المستديم فى الماء. فإن إزالة العسر أو خفضه يتم بطريقة ازالة العسر المستديم كما فى حالة إزالة عسر المياه لانتاج مياه الغلايات. ومن بين الطرق المستخدمة طريقة الصودا آش - الجير، التبادل الأيونى، إزالة الملوحة.

إزالة العسر بطريقة الجير-الصودا على البارد :

Cold Lime - Soda Softening

إزالة العسر بطريقة الجير - الصودا هى عملية تتم بالترسيب الكيميائى لعسر الكالسيوم والمغنيسيوم من الماء باستخدام الجير المطفئ $Ca(OH)_2$ والصوداآش (Na_2CO_3) وتختلف عملية إزالة العسر طبقا لحالة المياه الخام ومتطلبات الاستخدام للمياه المعالجة.

فى بعض الحالات يكون المطلوب هو المعالجة الجزئية فقط. ففى حالة مياه الشرب يتم إزالة العسر حتى ٨٥ جزء فى المليون من العسر الكلى فقط. كثير من المياه المستخدمة فى العمليات الصناعية تتطلب خفض قلوية الكالسيوم حتى ٣٥ جزء فى المليون فقط. المياه الغازية تتطلب عادة خفض القلوية إلى ٥٠ جزء فى المليون. وفى بعض الحالات يكون من الضرورى إزالة العسر بدرجة كبيرة. وفى هذه الحالة تتم المعالجة الكاملة لخفض ما أمكن للمحتوى من الكالسيوم والمغنيسيوم سواء كانت فى شكل عسر كربونات أو عسر غير كربونات أو خليط منهما بدون استخدام كيماويات إضافيه. وفى حالات أخرى فإن عملية إزالة العسر قد تتم بمعالجة كيماوية إضافية لخفض العسر عن الناتج بالمعالجة الكاملة.

- الكيماويات المستخدمة في إزالة العسر:

المياه يمكن إزالة عسرها مهما كان محتواها الكيماوي باستخدام خليط من مختلف الكيماويات الآتية:

* مروب الشبة (كبريتات الألومنيوم) أو باستخدام مروب كبريتات الحديدوز أو كبريتات الحد يديك.
* الجير المطفئ $Ca(OH)_2$ بشرط إن يكون نقاءه ٩٣% في عملية الجير - الصودا على البادر.
* الصودا آش (Na_2CO_3) بنسبة نقاء ٩٩,٢%.
* كلوريد كالسيوم. $CaCL_2$: و هو يستخدم عندما تكون القلوية اكبر كثيرا من العسر.

كيمياء إزالة العسر:

كلا من هذه الكيماويات له مهمة معينة عند إضافتة للماء، مع الخلط الجيد ثم إعطاء الوقت اللازم للتفاعل. ولتنفيذ ذلك يجب الحساب الدقيق للجرعات من واقع تحليل المياه. ولهذا فان تحليل المياه يعتبر هام. من المناسب توضيح إن أيون البيكربونات يتفاعل اولا مع الكالسيوم ثم بعد ذلك مع المغنيسيوم. فعند إضافة الجير فانه يتفاعل مع الكالسيوم ثم مع استمرار الإضافة من الجير يحدث التفاعل مع المغنيسيوم. الشكل رقم (١٠١) يوضح التعاريف لمحتويات الماء الكيماوية.

يتم أولا حساب القلوية كما لو كانت مرتبطة بالكالسيوم والماغنسيوم وتسمى قلوية الكالسيوم (Calcuim Alkalinity). وفي حالة وجود قلوية اكثر يتم حسابها كما لو كانت مرتبطة بالمغنيسيوم و تسمى قلوية المغنيسيوم. في عدد قليل من المياه الطبيعية قد يكون هناك زيادة فى القلوية اكثر من قلوية الكالسيوم والمغنيسيوم. في هذه الحالة يتم حسابها على أساس ارتباطها بالصوديوم وتسمى قلوية الصوديوم. في حالة القلوية اقل من إجمالي عسر الكالسيوم والمغنيسيوم الموجود، عندئذ فإن كمية العسر الذائد عن القلوية يسمى عسر الغير كربونات. عسر الغير كربونات عموما يعنى العسر المرتبط بأيونات الكلوريدات والكبريتات.

- **المروب Coagulant:**

عند ترسيب العسر، فانه يكون فى شكل ترسيبات دقيقة جدا بما يجعل من الضروري استخدام جرعات صغيرة من المروبات للحصول على زغبات والترسيب وتعتبر الجرعات الآتية مناسبة:

الشبة	٢٠ جزء فى المليون
كبريتات الحديدوز	٢٠ جزء فى المليون
كبريتات الحد يديك	١٠ جزء فى المليون

نظرا لأن المروب يتفاعل مع القلوية الموجودة فى الماء فانه تتكون زغبات جيلاتينيه التي تكبر في الحجم حتى ترسب. وهذه الزغبات لها القدرة على جزب وحجز الأجسام العالقة وفصلها عن المياه. وتفاعلات المروبات هي نفسها التي تحدث عند إزالة العكارة واللون.

• **الجير المطفى:**

يتفاعل الجير المطفى للترسيب الكيمائي لعسر الكربونات الموجودة فى الماء لانتاج المركبات الغير مذابة من كربونات الكالسيوم وأيدر وكسيد الماغنسيوم. وتختلف الجرعة المطلوبة طبقا للقلوية في المياه الخام. كذلك يتفاعل الجير المطفى مع أى من ثاني أكسيد الكربون الموجود وعندئذ مع ايون البيكربونات. الكميات المطلوبة يمكن حسابها من المعادلات الكيميائية للتفاعل.

$$CaCO_3 + H_2O \longrightarrow CO_2 + Ca\,(OH)_2$$

$$Ca\,(HCO_3)_2 + Ca\,(OH)_2 \longrightarrow 2CaCO_3 + H_2O$$

$$2CaCO_3 + Mg\,(HO)_2 + 2H_2O \longrightarrow Mg(HCO_3)_2 + 2\,Ca(HO)_2$$

يلاحظ أنه مطلوب ضعف الجير المطفى لترسيب المغنيسيوم مقارنة بالمطلوب لترسيب الكالسيوم. بمجرد تحول كلا من ثانى أكسيد الكربون والبيكربونات إلى كربونات الكالسيوم، فان آي جير مطفى إضافى ينتج عنه خفض فى المواد الصلبة المذابة.

• **الصودا آش : (Na_2CO_3):**

تتفاعل الصودا آش مع عسر الغير كربونات منتجة رواسب غير مذابة.

يلزم مكافئ من الصودا أش + مكافئ من الجير المطفى المكافئ من عسر الغير كربونات للمغنيسيوم.

$$MgSO_4 + Na_2CO_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow Mg(OH)_2 + CaCO_3 + Na_2SO_4$$

$$MgCl_2 + Na_2CO_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow Mg(OH)_2 + CaCO_3 + 2NaCl$$

يلاحظ انه فى التفاعلات السابقة لا يحدث خفض فى المواد الصلبه المذابة نظرا لإنتاج أملاح صوديوم مذابة.

- **كلوريد الكالسيوم:**

أحيانا يكون هذا المركب مطلوب لخفض القلوية لقيمة مطلوبة. حيث يستخدم كلوريد الكالسيوم في الحالات الآتية:

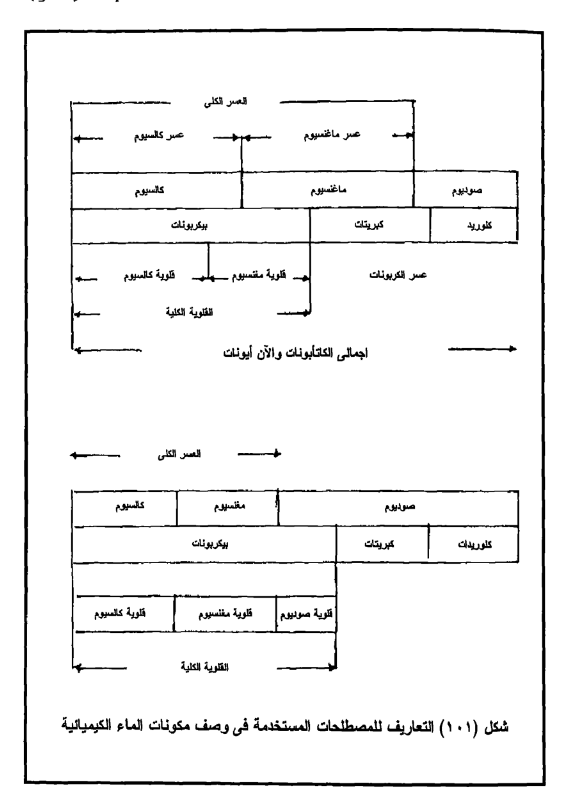
عندما تزيد قلوية المغنيسيوم عن ١٥ جزء فى المليون وان عسر المغنيسيوم ناقص قلوية المغنيسيوم = أقل قيمة من٤٠ جزء فى المليون. في حالة وجود قلوية الصوديوم. عموما المياه الطبيعية لا تحتوى على قلوية الصوديوم عدا فى حالة وجود قلوية المغنيسيوم. السبب في استخدام كلوريد الكالسيوم هو أن كلا من كربونات المغنيسيوم والصودا أش يذوب في الماء، ومن ثم لا يرسب من الماء بالجير المطفى أو الصودا آش. ولكن يتفاعلا مع الصودا أش كالأتي:

$$MgCO_3 + CaCl_2 \rightarrow MgCl_2 + CaCO_3$$

$$Na_2CO_3 + CaCl_2 \rightarrow 2NaCl_2 + CaCO_3$$

يلاحظ انه عند خفض قلوية كربونات المغنيسيوم، لا يحدث انخفاض في العسر.

كلوريد المغنيسيوم المتكون يتطلب مكافئ إضافي من الصودا أش و الجير المطفى (نظرا التفاعلات بخصوص الصودا أش).



شكل (١٠١) التعاريف للمصطلحات المستخدمة فى وصف مكونات الماء الكيميائية

القسم الثانى

التبادل الائونى :Ion Exchange

التبادل الأيوني بالراتجات المخلقة (Synthetic Resins) أو بالأدمصاص علـــي الألومينا المنشطة (Activated Alumina) يستخدم في إزالة العسر للمياه وذلك فـــي حالة عدم قدرة ألمعالجة التقليدية. ويكون مفضل عن إزالة العسر بالجير لســـهولة التشغيل وقلة التكلفة الرأسمالية. ويعتبر التبادل القاعدي (الكاتـــأيوني) أو التبـادل الحمضي (الآن أيوني) اكثر مناسبة لمصادر المياه الملوثة بأيونات سامه أو مـــواد مشعة مثل الباريوم، والزرنيـــخ، والكـــروم، الفلوريـــد، والنـــترات، والراديـــوم، واليورانيوم. وتستخدم الأمونيا المنشطة لإزالة الفلوريد والزرنيخ من المياه. وتعتبر وحدات التبادل الأيونى والادمصاص اللاعضوى اكثر تكلفة في الإنشاء والتشـــغيل لإزالة نوع واحد من الملوثات. كما يعتبر التبادل الايوني إقتصادى في حالة ثبـــات نوعية المياه المعالجة مثل مياه الآبار وغير مناســـب لمصـــادر الميـــاه الســـطحية المتغيرة.

يتكون المبادل الأيوني من طبقة من حبيبات راتنج المبادل الايونـــي المشـــبعة بأيون التبادل أو بحبيبات الألومنيا المنشطة التي تمتلك سطح أيـــدر كســـيد قـــابل للتبادل. والعوامل التي يلزم مراعاتها في التبادل الايونـــي أو الادمصـــاص الغـــير عضوي هو المعالجة المسبقة للمياه لمنع التراكمات في طبقة التبادل الايوني بالمواد الصلبة العالقة والرواسب والنمو البيولوجى وذلك مع أهمية اختيار مـــواد الإنشـــاء المناسبه لتداول المياه العدوانية ومجال التنشيط الايوني والمحـــاليل الناتجـــة بعـــد التنشيط.

إن جدوى واستخدام راتنجات التبادل الايوني أو الادمصاص الغير عضوي سيزداد لإزالة الملوثات من مياه الشرب حيث يزال الراديوم والنترات والفلوريد والزرنيخ والباريوم وخاصة بالنسبة لاحتياجات المياه للتجمعات الصغيرة.

١- نظرية عمل التبادل الآيونى :

يحدث التبادل الايوني عند استبدال أيون بأخر. وعند تطبيق ذلك في معالجة المياه فإنه يعني تبادل عكسي بين السائل والصلب، مع عدم حدوث أي تغير في حالة المادة الصلبة. يمتلك الجسم الصلب أيونات التي يمكن أن يبادلها بأخر. التبادل القاعدي أو الكاتأيونى هو إستبدال أيون موجب أو كاتأيون بأيون موجب أخر. في المياه الطبيعة الكاتأيونات الموجودة عادة هي الكالسيوم والماغنسيوم والصوديوم والهيدروجين والحديد والمنجنيز. أما التبادل الآن أيونى أو الحامضى فيحدث عند استبدال أيون سالب أو آن أيون بآن أيون سالب أخر. الآن أيونات الموجودة عادة في المياه الطبيعية هي الكلور يد والكبريتات والنترات والكربونات والايدروكسيد والفلوريد.

التبادل القاعدي (الكاتأيوني) أو الزيوليت:

وتعتمد هذه الطريقة على قدرة مادة صلبة غير مذابة (أساسا سيليكات) لتبادل الكاتأيون مع مواد أخرى مذابة فى الماء. حيث يمرر المياة العسر خلال طبقة من رمل الزيوليت (سيليكات مركبة من الألومنيوم والصوديوم): وعند المرور خلالها يتم استبدال كاتأيونات الكالسيوم والماغنسيوم والصوديوم من المبادل وتصبح المياه يسر. وعند استهلاك الصوديوم من رمل الزيوليت لا يصبح قادر على إزالة العسر من المياه. ولكن التفاعل عكسي حيث يمكن إعادة النشاط للزيوليت بتمرير محلول ملح خلال طبقة الزيوليت. الزيوليت (Zeolites) يمكن أن يبادل أيون الصوديوم أحادى التكافؤ بأيونات ثنائية التكافؤ. ويرمز له (Na2 R) حيث R رمز للجزء الصلب من الزيوليت.

يوجد نوعين من الزيوليت إحداهما هو الرمل الأخضر الطبيعي الغير مسامى (Natural Nonporous Green Sand) والنوع الأخر هو الزيوليت المخلق الجيلاتينى المسامي (Synthetic Porous Gel Type). والزيوليت الطبيعي ينتج بمعادلة (Neutralization) الرمل الأخضر الطبيعي. أما الزيوليت المخلق فيتم اعداده بخلط محلول سسليكات الصوديوم مع كبريتات الألومنيوم أو ألومينات الصوديوم (Soduim Aluminate). وراتنجات المعادلات الكاتأيونية هى بلمرات عضوية مخلقة عادة من نوع سالفونيت بولى إسيترين (Sulfonate Polystyrene).

راتنجات المعادلات الان أيونية (الحامضية) عبارة عن بلمرات عضوية تتكون من الامينات (amines) ومركبات الألومنيوم الرباعية. (Quarternary Ammonuim Compounds) ويمكن تنشيطها باستخدام أي قلوى مثل الصودا الكاوية. ومبادلات الفلوريد هي مبادلات أن آيونيه والتي تتكون من ثلاثى فوسفات الكالسيوم (Tricalcuim Phosphate).

الذي يزيل الفلوريد بالتبادل الايوني . وأثناء دورة إزالة العسر العادية.

٣ – طرق لإزالة العسر بالتبادل الايوني: شكل (١٠٢، ١٠٣)

توجد ثلاث طرق لإزالة العسر بالتبادل الايوني. وهي دورة الصوديوم (Soduim Sycle) والمعالجة الجزئية (Split Teatment) والتحلية (Demineralization). والطريقة الرئيسية هي طريقة دورة الصوديوم. وإزاله العسر بهذه الطريقة تتكون أساسا بتمرير المياه العسر خلال طبقة من المبادلات الكاتأيونية (Cation Exchange Resin) وهنا تزال مكونات العسر للماء من أيونات الكالسيوم والماغنسيوم واستبدالها بأيونات الصوديوم. معدل التبادل سريع بما يمكن من إزالة العسر من أي مياه بمعدل تدفق طبيعي.

التفاعل الذي يحدث في التبادل الكاتأيوني لإزالة العسر للمياه وفي عملية التنشيط (Regeneration) يمكن توضيحها بالمعادلات الكيميائية حيث يمثل المكون ألان أيون (الحامض) من المبادل الايوني بالرمز R.

$$Ca(HCO_3)_2 + Na_2R = CaR + 2NaHCO_3$$

$$Mg(HCO_3)_2 + Na_2R = MgR + 2NaHCO_3$$

$$CaSO_4 + Na_2R = CaR + Na_2SO_4$$

$$CaCl_2 + Na_2R = CaR + 2NaCl$$

$$MgSO_4 + Na_2R = MgR + Na_2SO_4$$

$$MgCl_2 + Na_2R = MgR + 2NaCl$$

عند إعادة تنشيط (Regeneration) المبادل الكاتأيونى يحدث التفاعل العكسي كالآتى (باستخدام الملح).

$$CaR + 2NaCl \longrightarrow CaCl_2 + Na_2R$$

$$MgR + 2NaCl \longrightarrow MgCl_2 + Na_2R$$

وحدة إزالة العسر بالزيوليت تشبه فى إنشاءاتها ومظهرها المرشح الرملي الذى يعمل بالضغط أو بالتدفق بالجاذبية، إلا أنها مملوءة بطبقة من الزيوليت بدلا من الرمل. وهي تتكون من جسم من الصلب قاعه يحتوي على زلط متدرج في الحجم أو الفحم النباتي تعلوها طبقة الزيوليت وتكون عادة بسمك ٧٥سم أو أكثر. يضاف إلى ذلك حوض لمحلول الملح للتنشيط مع التوصيلات والأجهزة اللازمة.

مزيلات العسر تعمل بالضغط أو بالجاذبية، وأجهزة إزالة العسر بالجاذبية تكون من الخرسانة أو الصلب. مزيلات العسر بالضغط تعمل بالتدفق العلوي أو السفلي. والفقد في الضغط نتيجة التدفق السفلي يمكن التغلب علية أثناء دورة إزالة العسر. كثيرا من أجهزة إزالة العسر تستخدم الجاذبية مع التمرير العلوي للمياه في رحلة إزالة العسر مع التمرير السفلي للمحلول الملحي للتنشيط. وبعد تمام دورة إزالة العسر يتم عمل الغسيل لطبقة الزيوليت (Back - Wash) وذلك لتفكك طبقة الزيوليت، وهذه تزيل أي أجسام أو مواد تكون متراكمة على سطح جبيبات الطبقة

وتجعلها أكثر تفتح لتقبل دورة التنشيط بالماء الملحي، وذلك بمنع عمل مسارات محددة فقط للمياه المالحة في طبقة الراتينج.

وفي عملية إزالة العسر بالضغط تتم التغذية بالمياه المالحة (Brine) بمعدل تدفق يتم التحكم فيه، وتوجد تقنيات كثيرة لتحقيق ذلك. وفي بعض أجهزة إزالة العسر الصغيرة يتم التنشيط بوضع ملح صخري نقاوه ٩٩% كلوريد صوديوم أعلا طبقة الراتنج، ثم تمرر المياه بمعدل ثابت خلال الملح لانتاج مياه مالحة بتركيز مناسب وبعد استخدام المياه المالحة في جهاز إزالة العسر يتم إزالة كل الفائض من المياه المالحة قبل عودة جهاز إزالة العسر إلى الاستخدام. ونظرا للكثافة العالية للمياه المالحة فإنها تتحرك إلى أسفل الطبقة في شكل مكبس عند استمرار الغسيل بالمياه النظيفة لدفع المياه المالحة خلال طبقة الزيوليت حتى خارج الجهاز. يستمر الغسيل حتى تخليص الجهاز من الكميات الكبيرة من كلوريد الكالسيوم مع كلوريد الصوديوم الذي لم يتفاعل وعودة الجهاز إلى العمل بعد تنشيط الزيوليت. وافضل طريقة لإزالة الكلوريدات هو زيادة الشطف (الغسيل) خمس مرات. ولقد أظهرت الخبرة أن أقصى تركيز للمياه المالحة المستخدمة في التنشيط هو ١٠ – ١٥%. وقد تستخدم مياه البحر في تنشيط المبادلات الكاتأيونية (القاعدية) ولكن يلزم أن تكون هذه المياه خالية من المواد الصلبة و / أو الحديد والمنجنيز المذاب. كما يلزم أن تكون خالية من العفن الذي ينتج كائنات دقيقة (Slime Producing Bacteria) وقد يتم تطهير مياه البحر في بعض الحالات بالكلوريد ثم الترشيح في مرشح رملي لمنع تلوث راتينج الزيوليت. إزالة العسر براتنج الزيوليت يزيل العسر كاملا للمياه شديدة العسر وذات محتوى قليل من السليكا. لا يسمح بدخول المياه العكرة إلى الجهاز والمرور خلال طبقة الزيوليت نظرا لأن الرواسب المتراكه ستغلف حبيبات الزيوليت و تخفض الكفاءة.

جهاز إزالة العسر بالزيوليت يتطلب صيانة بسيطة وهو سهل التشغيل.

٣- إزالة الأملاح بالتبادل الأيونى : (Demineralizarion)

إزالة الملوحة تتم بهدف إزالة الاملاح بالتبادل الأيونى. فيمكن التخلص من إزالة الأملاح لدرجة اكبر من التى يمكن الحصول عليها بالتقطير. فى هذه الحالة فإن الشق القاعد فى (الكاتأيونات) مثل الكالسيوم والمغنيسيوم والصوديوم تزال فى مبادل قاعدى هيدروجينى (Hydrogen Cation Exchanger). والشق الحامض (الآن أيونات) مثل الكبريتات والكلوريد تزال فى مبدل آن أيونى (حامضى) (Anion Exchanger).

أ- المبادل القاعدى (الكاتأيونى) : Cation Exchanger

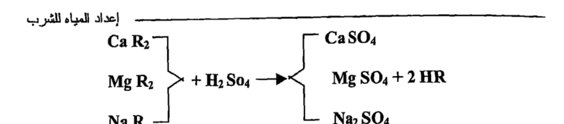
عند مرور المياه خلال راتنج (Resin) يحتوى على مبادل قاعدى (كاتايونى) مثل مجموعات حامض السلفونيك (Sulphonic Acid Groupings). عندئذ يحدث تبادل للكاتأيونات فى الماء بالهيدروجين فى الشق الحامضى للراتنج وبدا تتحول الأملاح الموجودة فى الماء إلى الأحماض لهذه الأملاح. المعادلات التالية توضح التفاعلات . يرمز لمادة التبادل القاعدى (الكاتأيونى) بـ HR

$$Ca(HCO_3)_2 + 2HR \longrightarrow CaR_2 + 2H_2\,CO_3$$

$$Mg\,SO_4 + 2\,HR \longrightarrow Mg\,R_2 + H_2\,SO_4$$

$$Ma\,CL + HR \longrightarrow NaR + HCL$$

ومثل كل تفاعلات التبادل الأيونى فإن هذه العملية عكسية (Reversible). فعند استهلاك الراتنج يمكن إعادة تنشيطه باستخدام محلول مخفف من حامض قوى (Strong Mineral Acid). وعملية التنشيط توضحها المعادلة التالية.



الحامض المتبقى فى المياه المعالجة جزئيا يلزم إزالتــه فــى المبــادلات الآن أيونوينة (الشق الحامضى).

ب- المبادلات الآن أيوينة : (Anion Exchangers)

تمرر المياه الحامضيه خلال طبقة راتنج محتوى على راتبــج يحتــوى علــى مجموعات قلوية قوية أو ضعيفة. المبادلات الآن أيوينة ضعيفة القلويـــة (Weekly Basic) سوف تمتص الكبريتات والكلوريدات والنترات، ولكن لا تمتص السـيليكا أو ثانى أكسيد الكربون. المبادل ذو الأن أيون أو القاعدى القوى يزيل السيليكا و الكبر يتيد (Sulphide) وثانى أكسيد الكربون بالإضافة إلى الآن أيونات العادية الأخــرى. المعادلات التالية يمكن أن توضح كيفية عمل المبادل القاعدى (الآن أيونى).

مبادل قاعدى ضعيف القلوية :

$$2\,Rw\,HO + H_2SO_4 \longrightarrow Rw_2SO_4 + 2H_2O$$

$$Rw\,OH + HCL \longrightarrow Rw\,CL + H_2O$$

مبادل قاعدى قوى القلوية :

$$2R_s\,OH + Hsi\,O_3 \longrightarrow Rs_2\,SiO_3 + 2H_2O$$

$$2R_2\,OH + H_2\,CO_3 \longrightarrow Rs_2CO_3 + 2H_2O$$

وفى كل حالة الأملاح المذابة الموجودة فى الماء تزال.

التنشيط (Regeneration) لراتنج المبادل الآن أيونى ســـيتم بتمريـــر محلـــول مخفف لقلوى قوى مثل الصودا الكاوية خلال طبقة الراتنج الذى استهلك نشـــاطة. التفاعلات هى:

مبادل أن أيونى ضعيف القلوية

$$Rw_2\,SO_4 + 2\,Na\,OH \longrightarrow 2Rw\,OH + Na_2\,SO_4$$

$$Rw\,CL + Na\,HO \longrightarrow Rw\,OH + Na\,CL$$

مبادى آن آيونى قوى القلوية

$$R_s\,Si\,O_3 + 2\,Na\,OH \longrightarrow 2\,R_s\,OH + Na_2\,SiO_3$$

$$R_s\,CO_3 + 2\,Na\,OH \longrightarrow 2\,R_s\,OH + Na_2\,CO_3$$

كما ذكر سابقا، فإن المبادل القاعدى شديد القلوية يمكنة أن يزيل الآن أيونـــات لكل من الأحماض القوية والضعيفة. ولكنة عادة مكلف وله قـــدرة محـــدودة علـــى التبادل عن المواد ضعيفة القلوية. ولهذا، فإنها تستخدم على نطاق واســـع لإزالـــة أحماض السيليكا (Silcic Acid) فى المرحلة الثانية لعملية إزالة الأمـــــلاح. ولـــهذا تستخدم مجموعتين من المـــواد عنـــد الحاجـــة الـــى الإزالـــة الكاملـــة للأمـــلاح (Demineralization).

جـ- طبقات الراتنج القاعدية والحامضية : Mixed Beds

فى حالة تمرير المياه التى عولجت بنظام التبادل القاعدى والحمضـــــى خـــلال وحدتين مشابهتين تعملان على التوالى، عندئذ يمكن زيادة التحسن فى نوعية المياه. فى جهاز الطبقة المزدوجة والتى تشمل خليط من راتنج المبادل الكاتـــأيونى والآن آيونى. عندئذ فإن عدد لا نهائى من الكاتأيونات والآن آيونـــات تعمـــل بـــالتوازى، والنتيجة هو الحصول على مياه معالجة ذات نوعية عالية.

٤- معدات واستعمالات إزالة الملوحة :

تستخدم عملية إزالة الملوحة من المياه وذلك لتوفير المياه اللازمة للتعويض (MakeUp Watar) وخاصة فى حالة المياه الخالية تماما من الأملاح المذابة للغلايات ذات الضغط العالى. هذا بالإضافة الى استخدام هذه المياه فى المنتجات الدوائية والكيماوية وبعض عمليات فى صناعة المنسوجات وفى تفضيض الزجاج (Silvering) وفى بعض عمليات الترسيب الكيماوى الكهربى. المعدات المستخدمة فى إزالة الأملاح تشابه تلك المستخدمة فى إزالة العسر بالزيوليت. حامض الكربونيك الناتج من المبادل الكاتأيونى (القاعدى) غير ثابت فى محلول الماء يتحلل إلى الماء وثانى أكسيد الكربون الذى يمكن أن يزال بعملية إزالة الغازات (Degasification). الجهاز المستخدم فى إزالة الأملاح المذابة شكل (١٠٣).

٥- إزالة القلوية : Dealkilation

المياه التى أزيل عسرها باستخدام زيوليت الصوديوم عادة تحتوى على كمية كبيرة من بيكربونات الصوديوم زيادة عن المقبول فى مياه تغذيه الغلايات. فى الغلايات تتحلل بيكربوتات الصوديوم إلى كربونات الصوديوم وثانى اكسيد الكربون، بالإضافة الى أن بعض كربونات الصوديوم تتحلل الى الصودا الكاوية وثانى أكسيد الكربون. وثانى أكسيد الكربون هذا يمر مع البخار ويشكل مصدر وسبب للتآكل فى شبكة البخار. والفائدة من عملية إزالة القلوية تقع على خفض قلوية البيكربونات فى المياه المعالجة بدون استخدام حامض. وفى وحدة إزالة القلوية يستخدم راتنج آن آيونى عالى القلوية. عند مرور المياه فى خلال الراتنج فإن أملاح الصوديوم المذابة مثل بكربونات الصوديوم وكبريتات الصوديوم تتحول الى الكمية المكافئة من كلوريد الصوديوم. تفاعلات مبادل الكلوريد القاعدى كالاتى:

$$(H\ CO_3) + R\ CL \longrightarrow RHCO_3 + CL^{-}$$

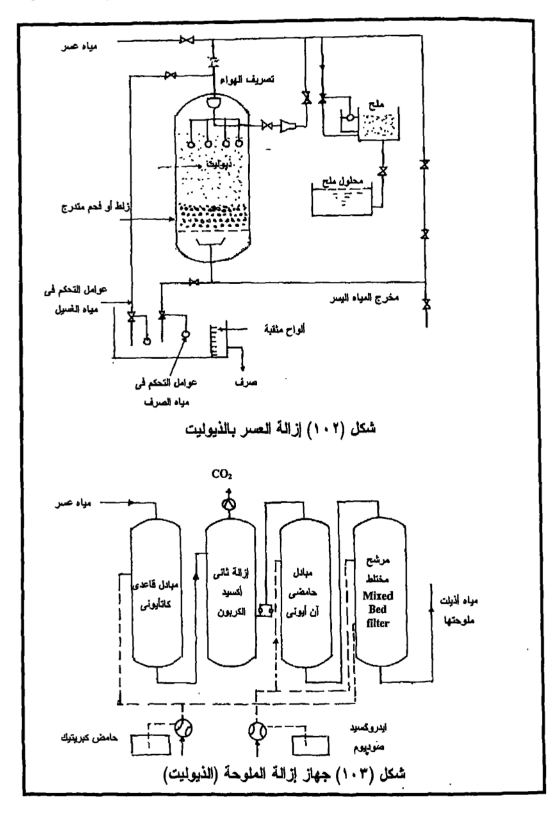
$$SO_4 + RCL \longrightarrow RSO_4 + CL^{-}$$

يتم التنشيط للراتنج باستخدام كلوريد الصوديوم كالاتى :

$$R\,HCO_3 + Na\,Cl \longrightarrow RCl + Na\,HCO_3$$

مبادل القاعدي بالكلوريد (Chloride Anion Exchanger) يشبه في إنشائه جهاز زيوليت الصوديوم ومجهز بنفس التجهيزات اللازم للتنشيط يوصي بسمك طبقة الراتنج من ٧٥ – ٩٥ سم. مع إزالة القلوية فإن الأملاح الكلية المذابة تقل بنسبة عسر القلوية (Alkaline Hardnecs). الجدول التالي (١٣) يوضح مثال تقريبي لنوعية المياه بعد عمليات المعالجة المختلفة لإزالة العسر على عينة من الماء العسر والأرقام بالجزء في المليون.

طرق المعالجة	العسر		سيلكا	أملاح الصوديوم	الأملاح الكلية
	قلوي	غير قلوي			
الماء الخام	٢٠٠	٥٠	١٠	٥٠	٣١٠
الجير	٣٠	٥٠	٨	٥٠	١٣٨
الجير – الصودا	٣٠	صفر	٨	١٠٠	١٣٨
الجير – الصودا – الزيوليت	٥	صفر	٨	١٢٥	١٣٨
الزيوليت	٥	صفر	١٠	٢٩٥	٣١٠
إزالة القلوية	٥	٥٠	١٠	٥٠	١١٥
الزيوليت + إزالة القلوية	٥	صفر	١٠	١٠٠	١٢٥
إزالة الأملاح	١	صفر	آثار	٢	٣



شكل (١٠٢) إزالة العسر بالذيوليت

شكل (١٠٣) جهاز إزالة الملوحة (الذيوليت)

القسم الثالث

التهوية : Aeration

التهوية هي عملية الألتصاق بين الماء والهواء بغرض زيادة الأكسجين المذاب في الماء وتقليل ثاني أكسيد الكربون المذاب وإزالة كبريتيد الهيدروجين وبعض المركبات العضوية المسببة للمذاق والرائحة. مذاق المياه وقابليتها للشرب بتحسين بإزابة الأكسجين في الماء وإزالة كبريتيد الهيدروجين. وإن كان إزالة ثاني أكسيد الكربون يحول البيكربونات الي كربونات بما يسبب تكون راسب من كربونات الكالسيوم التي قد تسبب بعض المشاكل. تستخدم التهوية علي نطاق واسع لمعالجة مياه الأبار المحتوية علي نسب عالية من الحديد والمنجنيز. وهذه المواد تسبب المرارة في المذاق للمياه كما تسبب التغير في لون الأرز عند أعداده للطعام وكذلك تكون بقع سوداء عند استخدام هذه المياه في غسيل الآنية والملابس. وعند التصاق أكسجين الهواء الجوي بالماء في عملية التهوية فإنه يتفاعل مع مركبات الحديد والمنجنيز ثنائية التكافؤ المذابة في الماء (Forrous & Manganous) وتتحول الي الأكاسيد ثلاثية التكافؤ الغير مذابة (Ferric & Manganic) وهذه يمكن إزالتها بالترسيب والترشيح.

درجة تشبع المياه الملامسة للهواء الجوي المشبع ببخار الماء عند منسوب سطح البحر، وفي درجة حرارة ١٠ م وضغط جوي واحد هو: نيتروجين ١٧،٩ ملجرام / لتر، أكسجين ١١،٤ ملجرام / لتر، ثاني أكسيد الكربون ٠،٧ ملجرام / لتر وقد استخدمت التهوية لأزالة الملوثات من المواد العضوية المتطايرة من الماء

والتي هي من مسببات بعض الأمراض. وفي محطات المعالجة عند التصاق الماء بالهواء لإزالة مادة من الماء تسمي هذه العملية الكسح (Stripping Or Disorbtion) والي حد ما استخدمت التهوية لنقل غاز الي الماء وهذه العملية تسمي الأدمصاص (Adsorbrion) مثال ذلك إضافة أكسجين الهواء الجوي الي الماء أو أضافة الأوزون الي الماء والعملية كلها تسمي التصاق المياه بالهواء لنقل الغازات ما بينهما. وكلمة غاز هنا معناها المواد التي تكون في الحالة الغازية في درجة الحرارة العادية والضغط العادي، وكذلك المركبات التي تكون في حالة السوائل المتطايرة. وفي أي الحالات فان النقل يكون في الشكل الغازي. ولتحقيق الانتقال فإنه يلزم وجود تدرج في تركيز الغاز ما بين السائل (الماء) والهواء الجوي، حتي الوصول الي حالة الأتزان (Equilibruim) ما بين الماء والهواء وعندئذ ولا يحدث انتقال.

١- نظرية إنتقال الغازات : (Theory Of Gas Transfer)

الإتزان : Equillbruim

عند مناقشة كمية الغاز أو المعدل الذي ينتقل به الغاز من والي الماء فانه يلزم الأخذ في الأعتبار الغازات التي تذوب في الماء والعوامل التي تؤثر علي إذابتها. توجد غازات تتفاعل مع الماء مثل كبريتيد الهيدروجين والنشادر وثاني أكسيد الكربون وغازات لا تتفاعل مع الماء مثل الأكسجين والميثان والكلوروفورم. في حالة عدم حدوث تفاعل فإن إذابة الغاز في الماء يتم بطاقة ديناميكية حرارية تسمي الأنتروبي (Entropy) مثل حالة الأكسجين والماء. والزيادة في قوة الأنتروبي تقاوم بقوة الجذب بين جزيئات الماء ببعضها البعض. وليمكن زيادة الغاز في الماء فإنه يلزم التغلب علي قوة الجذب لجزيئات الماء لبعضها ولقد عرف أن جزيئات الماء تنجزب لبعضها بواسطة الربط الهيدروجيني (Hydrogen - Bonding) ولزوبان الغازات في الماء فإنه يجب أن يكون أكثر إنجذابا بالماء من انجذاب جزيئات الماء لبعضها. فإذا كان الهواء يحتوي علي غاز الأكسجين ووضع في إناء

مقفل به ماء خالي من الأكسجين فإن الأكسجين يبدأ في الأنتقال الي الماء وإذا تـــم ضخ أكسجين زيادة في الهواء أي زيادة نسبة جزيئات الأكسجين في الهواء عندئـــذ يحدث إنتقال للأكسجين الي الماء حتى الوصول إلى حالة اتزان جديدة في المـــــاء. وفي حالة معالجة المياه فان إزابة الغازات تتأثر بالضغط ودرجة الحرارة وأن كـان التغير في الضغط يحدث عند التغير في درجات الحرارة وتطبق المبادئ التالية فـي نظم الماء والغازات.

* عند الوصول الي حالة الأتزان (Equilibruim) لا يحدث إنتقال للغاز ما بين الماء والهواء.
* عند عدم الوصول إلى حالة الإتزان يحدث إنتقال للغاز لحين الوصول إلى حالـــة الإتزان وزمن الوضول إلى حالة الإتزان قد يستغرق وقــــت كبـير أو يكـــون فورى.
* لكل غاز، ضغط كلي، درجة حرارة. تحدث حالات من الأتـــزان. كلمـــا زادت درجة الحرارة قلت الازابة وكلما زاد الضغط الكلي زادت الإذابة.

معدل إنتقال الغاز: Mass Transfer.

أن معـــدل وصول الماء والهواء الي حالة اتزان يوفر القوة الدافعــــة لحركـــة الغاز (Diffusion) ولحدوث ذلك يلزم وجود تدرج فى التركيز فى اتجـــاه إنتشـــار الغاز فى كل من الماء والهواء. يمكن توضيح ذلك من الشكل رقـــم (١٠٤). عنـــد درجة حرارة ٢٠°م وعند منسوب سطح البحر وعندما تكون المياه فى حالة إتـــزان مع الهواء الجوى ستحتوى المياه علـــى ١٥,٨ مليجـــرام / لـــتر نيـــتروجين، ٩,٤ مليجرام / لتر أكسجين، ٠,٥ مليجرام / لتر ثانى أكسيد الكربون وكمية صغـــيرة لا تقاس من كبريتيد الهيدروجين.

كلا من ثانى أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين قابل للذوبان فى الماء فعنـــد ٢٠°م ومنسوب سطح البحر يذوب ثانى أكسيد الكربون بمعدل ١٧٠٠ مليجـــــرام / لتر، كبريتيد الهيدروجين ٣٥٠٠ مليجرام / لتر. الضغط الجزئ لكـــل مـــن هـــذه الغازات فى الهواء الجوى عمليا صفر. ولهذا فإنه عند حدوث حالة الاتزان، مـــابين

الماء والهواء بواسطة التهوية سينتج عنه تشبع الماء بغازات النيتروجين والاكسجين والتخلص تماما من غازات ثانى أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين من الماء بالتهوية. الأساس فى إزالة الغازات بالتهوية هو تحقيق حالة الأتزان مابين الغازات فى الماء والغازات الموجودة فى الهواء الجوى المحيط. يساعد على إزالة الغازات بالتهوية إرتفاع درجة الحرارة، زمن التهوية، حجم الهواء الملاصق للماء، مساحة سطح الماء المعرض للهواء. وتزداد كفاءة الإزلة كلما زادت نسبة تركيز الغاز فى الماء عنه فى الهواء. فمثلا كفاءة التهوية تكون عالية للماء المحتوى على ١٠٠ مليجرام / لتر ثانى أكسيد الكربون عنه فى الماء المحتوى على ١٠ مليجرام / لتر.

٣- أنواع تجهيزات التهوية: Aerators Types

المعدات المستخدمة فى التهوية يمكن أن تقسم إلى التهوية بالتدفق الهابط للمياه (Water Fall Aerators) والتى هى نافورات البثق (Spray Nozzles)، تدفقات المياه من أعلى إلى أسفل لتلتصق بالهواء (Cascades)، الصوانى المتعددة (Multiple Trays)، التهوية بالفقاعات (Diffusion Or Bubble Aerators) والتى تضخ الهواء فى شكل فقاعات خلال الماء، التهوية الميكانيكية (Mechanical Aerators). واجهزة التهوية بالتدفق الهابط للمياه تسبب التهوية بسبب نزول المياه فى شكل رزاز (Drops) أو فى شكل طبقات رقيقة جدا من المياه (Thin Films) بمايزيد من مساحة الماء المعرض لوحدة الحجم. أما التهوية بالفقاعات فتحدث تأثير أقل وذلك بضخ فقاعات الهواء الى الماء باستخدام تجهيزات ضخ الهواء (Air Lnjector Devices). وبالنسبة للتهوية الميكانيكية فهى تتم باستخدام مراوح أو ريش تدار بمحركات منفردة أو يستخدم معها تجهيزات لحقن الهواء، وتستخدم هذه على نطاق واسع فى معالجة مياه الصرف.

العلاقة ما بين الحجم والمساحة والزمن : (Area Volume and Time Relation).

العلاقة العكسية ما بين المساحة المعرضة لوحدة الحجم (A/V) والزمن (T)، فعند ثبات ناتج (A/V) والزمن (T) فإن كفاءة جهاز التهوية تظل ثابتة. ولذلك فإن الزمن (T) يمكن أن يزداد على حساب العلاقة (A/V) والعكس صحيح بدون الفقد

فى الكفاءة. وهذه العلاقة العكسية تستخدم فى الأنواع المختلفة لأجهزة التهوية. فميزه التهوية بالتدفقات الهابطة للمياه عموما هو النسبة العالية بين المساحة إلى الحجم (A / V) نتيجة إنتاج المياه فى شكل رزاز أو طبقات رفيعة جدا. أقصى مساحة يمكن إنتاجها باستخدام جهاز النافورات بالبثق (Spray Nozzles) ولكن زمن التعرض سيكون قليلا جدا إلا فى حالة توفير قوة ضغط عالية لدفع المياه الي اعلي في الهواء. وعلي الجانب الأخر فان التهوية بالمصاطب المتدرجة (Cascade Aerators) تنتج مساحة تعرض أقل ولكن زمن التعرض يكون كبيرا.

والتهوية باستخدام ناشرات الهواء (Diffusion Types Aerators) توفر زمن أكبر فمثلا المياه في نافورة ناشرات الهواء بارتفاع ١٠ متر عمودي وعودة عامود المياه ثانيا بمعدل تقريبي ١٣ قدم في الثانية بما يوفر زمن تعرض أقل من ٢ ثانية. وعلي الجانب الأخر فان فقاعة الهواء بالحجم المستخدم عادة في ناشرات الهواء لها سرعة حوالي ١ قدم في الثانية وبالتالي زمن التصاق ١٠ ثانية في حوض عمق فيه ١٠ قدم. تفيد التهوية تحت الضغط في خزان مغلق في تحقيق كفاءة في ادمصاص الأكسجين ولكن ليست ذات كفاءة في ازالة ثاني اكسيد الكربون والذي يزال بالهواء الجوي. ولكن للتخلص من غاز في خزان مغلق يمكن خفض الضغط الكلي للهواء ولذلك استخدمت وحدات التهوية التي تعمل بالتفريغ (Vacuum Deaerating Systems). التهوية الجيدة مهمة لازالة غازات مثل ثاني أكسيد الكربون الخانق، او غاز الميثان الذي يسبب الانفجار او كبريتيد الهيدروجين شديد السمية. فى درجة حرارة المياه العادية ما بين صفر الى ٣٠°م فإن المركبات التى تغلى عند درجة حرارة أعلا من صفر درجة مئوية لايمكن أن تزال بالتهوية. كمثال ثانى أكسيد الكربون له درجة غليان – ٧٨°م ولذلك فإنه شديد التطاير عند درجة الحرارة العادية ويمكن إزالته بالتهوية، وعلى الجانب الأخر فإن الفينول له درجة غليان عالية وضغط بخار منخفض عند درجة الحرارة العادية، ونظراً لانخفاض ضغطه الجوى فليس من المناسب إزالته بالتهوية العادية.

إذا أمكن التعرف على المركبات المسببة للمذاق والرائحة وتحديد الإذابة وضغط البخار يمكن تقدير درجة إزالتها بالتهوية. وعموماً فإن قليلاً من المواد المسببة للمذاق والرائحة يمكن إزالتها بالتهوية باستثناء كبريتيد الهيدروجين.

إزالة كبريتيد الهيدروجين :

يمكن إزالة كبريتيد الهيدروجين بالتهوية ولكن إذا كان التركيز عالى فإن ذلك يتطلب احتياطات خاصة. والخاصية العامة لكبريتيد الهيدروجين هى إزابته العالية مقارنة بثانى أكسيد الكربون. وكذلك فإن كبريتيد الهيدروجين يتآين فى الماء، فهو حامض ضعيف ومعادلة تأينه كالآتى:

$$H_2S \rightleftharpoons H^+ + HS'$$

فعند تهوية المياة المحتوية على كل من ثانى أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين فإن ثانى أكسيد الكربون الأقل إزابة يزول بسرعة وإزالته تقلل من تركيز أيون الهيدروجين (حامض ضعيف بتأين) حيث يرتفع الرقم الهيدروجين للماء. وبذا يتحرك التفاعل لتأين كبريتيد الهيدروجين فى اتجاه زيادة التركيز للمركب H،HS ولذا لا يمكن إزالة بالتهوية. وعامل آخر فى أن التهوية تعمل على أدمصاص الماء بالأكسجين والذى يتفاعل مع كبريتيد الهيدروجين مكونا ماء وكبريت حر. وهذا التفاعل يقلل من تركيز كبريتيد الهيدورجين ولكن بالتفاعل الكمياوى وليس بانتقال الغاز الى الهواء الجوى، وأن لم يزال الكبريت الحر فإنه يسبب مشاكل فى معالجة المياه.

يمكن زيادة كفاءة الإزالة لكبريتيد الهيدروحين بالتهوية فى جو يحتوى على ثانى أكسيد الكربون أكثر من العادى باستخدام غازات الحريق. تهوية الماء فى جو يحتوى على ١٠% ثانى أكسيد الكربون يوفر الظروف للرقم الهيدروجين ليظل كبريتيد الهيدروجين (H2 S) محافظا على تركيزه فى الماء. وهذا يساعد على نقله من الماء إلى الحالة الغازية. يعد ذلك يمكن إزالة ثانى أكسيد الكربون بعملية تهوية عادية.

٣- مبادئ التصميم :

من واقع نظريات التهوية فإن إنتقال المواد المتطايرة من والى الماء بالتهوية يتوقف على عدة عوامل كثير منها متعارض. والمصمم قد يمكنه التحكم وقد لا يستطيع التحكم فى بعض هذه العوامل. وأساساً بالنسبة للاضطراب (Turblence) والعلاقة بين المسافة والحجم وزمن التعرض. وفى الحدود يمكن التحكم فى جو جهاز التهوية وفى تصميم وحدة التهوية قد يفضل عامل على الآخر. يلزم الاهتمام بالعامل الاقتصادى والقرار الأخير هو نوع عملية التهوية التى تنفذ أو مدى ملاءمة استخدام التهوية عموما والذى يحدد طبقا للقواعد الطبيعة والاقتصادية. وعامل آخر هام جوا هو الشكل المعمارى والجمالى لوحدة التهوية بما يدعو إلى الابتهاج والسرور وتقبل نوعية المياه المعالجة للشرب.

انواع تجهيزات التهوية : Aerators Types أشكال (١٠٦ إلى ١١٢)

٤- التهوية بالرش او الترزيز: Spray Aerators شكل (١٠٩، ١١١)

في هذا النظام تدفع المياه لأعلى إما عموديا أو بزاوية مائلة بطريقة تجعل المياه تترزز إلي نقط صغيرة جدا. ويتكون المنشأ عادة من نافورات مثبتة (Fixed Nozzles) علي شبكة مواسير متصالبة. التهوية بالترزيزات ذات كفاءة بالنسبة لنقل الغازات (إزالة ثاني أكسيد الكربون أو إضافة الأكسجين) ولها تأثير علي استساغة المياه. ولكنها تحتاج إلي مساحة كبيرة.

ويتوقف زمن التعرض لكل نقطة علي سرعتها الأولية ومسارها. حجم النقط والنسبة بين المساحة والحجم هو دليل علي ترزير النافورة. السرعة الأولية للنقطة الخارجة من النافورة أو الثقب تقدر بـ $2gh \sqrt{V} = Cv$

والتصرف بالمعادلة $Q = cdA\sqrt{2gh}$

h = الضغط الرأسي علي النافورة Total Head

g = عجلة الجاذبية

A = مساحة الثقب

cv = معامل السرعة

cd = معامل التصرف (cd = cv × ce حيث ce معامل الانكماش).

معاملات السرعة والانكماش والتصرف تتغير طبقا للشكل والخواص الأقـوى للنافورة أو الثقب.

ومسار الترزيز قد يكون عموديا أو مائلا. إذا كانت θ هي الزاوية بين محصلة السرعة الأولية والأفقية فان زمن التعرض لنقط المياه يكون.

$$T = 2CvSin\theta\sqrt{2g/h}$$

ونظراً لأن جيب الزاوية اقل من ٩٠ ° درجة (اقل من ١)، فان الترزيز العمودي يعطي أطول زمن تعرض لقيمة (h). والترزيز المائل له ميزه وهي طول المسار وعدم التداخل بين النقاط المتساقطة. وتؤثر الرياح علي مسار النقاط الصاعدة والهابطة مما يتطلب أخذ ذلك في الاعتبار.

وتصميم النافورات هام لتوفير أقصى انتشار للماء. ومن بين هذه التصميمات النافورة القاذفة (Riffled Nozzle)، النافورة بالطرد المركزي، الأقماع الطافية. والنافورة الدوارة. يتوقف العدد والفواصل بين النافورات علي الضغط ومساحة التهوية والتداخل بين الرشاشات المتجاورة. وعمليا يجب تجنب النافورات الصغيرة جداً لمنع الانسداد.

من أشكال التهوية بالرش حيث ترزيز المياه يتم من خلال فوهة مثبتة متصلة بلوحة مثقبة للتوزيع حيث تنتشر من خلالها المياه إلى الهواء الجوى بسرعة ٣-٥ متر فى الثانية. وشكل آخر حيث المياه تتدفق لأسفل خلال قطع قصيرة من

المواسير بطول ٢٥ سم وقطر ١٥-٣٠ سم. والتى تتغذى مـــن ماســـورة توزيـــع رئيسية تحمل المياه تحت ضغط عامود مائى من ٢-٨ متر. ويوضع قرص مستدير زجاجي أسفل نهاية كل ماسورة. وأحيانا توضع المواسير الفرعيـــة مائلـــة لمنـــع التصادم بين قطرات المياه المتساقطة والمنعكسة. ولمنع تلوث المياه يلـــزم عمـــل تهوية صناعية وتحديد مستمر لتيار الهواء.

ونوع آخر من التهوية بالرش والذى يستخدم فوهات لماسورة تغذية حيث المياه تتدفق لأعلى (شكل ١١١). عادة فإن تجهيزات التهوية بالرش توضع فوق حـــوض الترسيب أو وحدة الترشيح لتوفير المساحة الأرضية ولعدم الحاجـــة إلـــى توفـــير حوض تجميع للمياه المهواه. ولمنع الانسداد يجب أن تكون فتحـــة خـــروج الميـــاه كبيرة نسبياً أى أكبر من ٥ مليمتر (شكل ١٠٩). وفى نفس الوقت يجب أن توفـــر هذه التجهيزات الترزيز للمياه إلى نقاط صغيرة جداً. وتوجد تصميمات كثيرة لتوفير هذه الاشتراطات منها جهاز التهوية البسيط الذى يســـتخدم عـــائق شـــكل (١١١). التهوية بالنافورات تزيل اكثر من ٧٠% من ثانى أكسيد الكربـــون المـــذاب حتـــى ٩٠%.

٥- التهوية بتساقط المياه :

أ- التهوية بالصوائى المتعددة (Multiple Tray Aeration) شكل (١٠٦)

وهذه طريقة سهلة وغير مكلفة وتشغل حيز صغيره. وهذا النوع من أبـــراج التهوية يتكون من ٤-٨ صوانى مثقبة بفواصل ٣٠-٦٠سم. وتمر المياه من أعـــلا البرج خلال مواسير مثقبة للتوزيع بانتظام على أسطح الصوانى العليا، ثـــم تتدفـــق الى اسفل بمعدل ٠,٠٢ م٣/ث / المتر المربع من مسطح الصانية. نقـــاط الميـــاه تنتشر ثم تتجمع عند كل صانية تالية. هذه الصوانى تصنـــع مـــن الاسبســـتوس أو البلاستيك أو الخشب الأحمر البحرى المقاوم للمياه أو مـــن المواســـير البلاســـتيك صغيرة القطر. ولزيادة تشتت المياه يمكن ملئ الحوض بالزلط الفاير بسمك ١٠ سم وقد يستخدم فحم الكوك أو كسر الأحجار أو قطع السيراميك أو الدولوميت. ولـــهذه المـــواد فائدة فى حجز الرواسب والتخلص منها أولاً بأول. كما تفيد فـــى تحويـــل

المياه إلى قطرات صغيره بما يزيد من مساحة الأسطح المعرضة للهواء ويرفع من قيمة معامل الانتقال للغازات وبذا تتحسن نوعية المياه بإزالة ثانى أكسيد الكربون وإزابة الأكسجين فى الماء. وتمتاز هذه الطريقة بصغر المساحة التى تتراوح ما بين ١٥-٤٥ متر لكل ١٠٠٠ متر مكعب من المياه في الساعة. كما يلزم من آن لآخر تنظيف أو تغيير طبقة الفحم وإلا تعطل مرور المياه وتوقفت العملية كلها. وفي كثير من الحالات تغطي هذه الأعمال بالإنشاءات المسقوفة وبالتالي ضرورة الالتجاء إلي التهوية الصناعية. وبالنسبة للتجمعات الصغيرة ذات الاستهلاك المحدود من المياه يستخدم برج التهوية اليدوي مع الترشيح للمياه المحتوية علي نسب عالية من الحديد والمنجنيز شكل (١٠٦).

ب – التهوية بالمصاطب المتدرجة : Cascade Aerators شكل (١٠٧، ١٠٨)

في التهوية بالمصاطب المتدرجة يتوفر زيادة زمن التعرض وكذلك زيادة نسبة المساحة إلي الحجم وذلك بتدفق المياه لأسفل خلال عدد من المصاطب أو العوائق. وابسط أنواع المصاطب المتدرجة هو المصاطب الخرسانية والتي تجعل المياه تنساب في رقائق من منسوب إلي آخر. يمكن زيادة زمن التعرض بزيادة عدد المصاطب، كما يمكن زيادة نسبة المساحة إلي الحجم بإضافة عوائق (هدارات) لا حدات الاضطراب (Turblence). والضغط المطلوب من ٣-٥ قدم. إزالة ثاني أكسيد الكربون تتم بنسبة ٢٠-٤٥%. ويتراوح عدد المصاطب بين ٣-٥ حسب الجودة المطلوبة للمياه من عملية التهوية. وتبلغ مسافة سقوط المياه من ١٥-٣٠ سم، كما يبلغ معدل التصرف ٢٠ الي ١٠٠٠ متر مكعب في الساعة لكل متر طولي من الهدار (عرض الحوض)، علي أن تكون الهدارات مزودة بإطراف علي هيئة سن المنشار لتوزيع المياه وتفكيكها علي هيئة قطرات يسهل تهويتها وقد وجد أن المساحة المطلوبة لهذا العملية تبلغ حوالي ٣٠ متر مسطح لكل ١٠٠٠ م^{3} مياه في الساعة. وان كانت هذه الطريقة قد أثبتت كفاءة عالية في زيادة نسبة الأكسجين المذاب في المياه ألا أنها لم تعط نتائج جيدة لإزالة ثاني أكسيد الكربون. ومقارنة ببرج التهوية ذو الصواني (Tray Aerators) فإن المساحة المطلوبة للتهوية بالمصاطب اكبر وان كان الفقد في الضغط اقل، إلا أنة لا يحتاج إلي صيانة. نوع

آخر من حوض التهوية متعدد الأرضيـــة (Multiple Platform Aerator) شــكل (١٠٨) حيث تستخدم ألواح لنزول المياه إلي اسفل بما يعـــرض الميــاه بالكــامل للهواء. وفي المناخ البارد يجب أن تكون هذه المصاطب في مبنى مغلق كما يجــب عمل إجراءات تحسين التهوية وكذلك الاحتياط لتجنب التــآكل وتكويــن الطحــالب والمواد الهلامية.

٦- التهوية بفقاعات الهواء: Bubble Aerators

كمية الهواء للتهوية بالفقاعات صغيره ولا تزيد عن ٠,٣ – ٠,٥ متر مكعــب من الهواء لكل متر مكعب من الماء. وهذه الأحجام يمكن توفيرها بســهولة بشــفط الهواء الى الداخل (Sucking- In Of Air). يمكن توفير ذلــك باســتخدام التهويــة بالفنتورى (Venture) شكل (٥) حيث يوضع جهاز التهوية أعلا مــن الماســورة الحاملة للمياه. فى فتحة الفنتورى تكون سرعة المياه عالية حيث فى المقــابل يقــل ضغط الماء إلى اقل من الضغط الجوى ولذا فان الــهواء يجــذب (Sucked) إلــى الماء. وبعد المرور فى فتحة الفنتورى تتدفق المياه خلال ماسورة متسعة المقطـــع وتقل سرعة المياه مع ما يقابلها من زيادة ضغط الماء. تختلـــط فقاعــات الــهواء الصغيرة جدا مع الماء ويمتص الأكسجين من الهواء إلى الماء. ويعتبر التخلص من ثانى أكسيد الكربون فى هذا النوع من التهوية غير مؤثر نظرا لأن حجم الهواء فــى الفقاعات صغير نسبيا. وكذلك التخلص من باقى الغازات غير مجــدي فــى هــذه الطريقة.

٧- التهوية بالهواء المضغوط (الحقن) :Injection Aerators شكل (١٠٥- أ، ب،جـ)

فى هذه الطريقة يتم ضغط الهواء داخل المياه المطلوب تهويتها فيخرج الــهواء على هيئة فقــاعات تمد المياه بالأكسجين اللازم. وهذه الطريقة غير مجديـــة فـــى إزالة النسب العالية من ثانى أكسيد الكربون، ألا أنها لا تتــأثر بالتقلبــات الجويــة والرياح كما فى الطرق السابقة. وللتهوية بالهواء المضغوط عدة طرق أهمها شــكل (١٠٥).

وفى هذه الطريقة تتم التهوية فى حوض مستطيل من الخرسانة المسلحة مـزود بناشرات هواء قرب قاعة. وهى عبارة عن أنابيب مثقبة أو مسامية ينفـذ خلالـها الهواء المضغوط وتنشر على هيئة فقاعات هوائية تتخلل المياه فتحدث التهوية شكل (أ) والسرعة الرأسية المناسبة لصعود هذه الفقاعات لاتزيد عن ٣٠سم /ث، وذلـك بقصد إطالة زمن التلامس لفقاعات الهواء مع الماء وإمكان حصول الميـاه علـى الأكسجين من هذه الفقاعات. ويبلغ عمق الحوض ٣-٤,٥ فإذا نقـص عـن ذلـك إنخفض زمن التلامس وقلت الاستفادة من الهواء المضغـوط. أمـا إذا زاد عمـق الحوض فإن ذلك يتطلب طاقة كبيرة لضغط الهواء دون أن يقابل ذلك تحسن فـى التهوية. يجب ألا يزيد عرض الحوض عن ضعف عمقه. ويحدد الطـول الـلازم للحوض بعد تحديد سعتة وهذه تصمم لزمن مكث ما بيـن ١٠ الـى ٢٠ دقيقـة. المساحة اللازمة لهذه الأحواض تتراوح مابين ٤٠ الـى ١٢٠مـتر مربـع لكـل ١٠٠٠متر مكعب من المياه فى الساعة. وتختلف كمية الهواء المطلوب من عمليـة لآخرى ولكنها عادة تتراوح بين ٤٠%، ٨٠% من كمية المياه المطلوب تهويتـها. وفى هذه الطريقة كلما صغر حجم فقاعات الهواء كلمـا زادت أسـطح التلامـس وتحسنت التهوية. ونظرا لأن حجم فقاعات الهواء يبلغ تقريبا عشرة أضعاف حجـم الفتحة التى خرجت منها فإن الحصول على فقاعات صغيرة يتطلب ناشرات هـواء ذات مسام صغيرة وهذه تكون سريعة الانسداد، ولتفادى ذلك يفضل ترشيح الميـاه قبل التهوية للتخلص من المواد العالقة التى تسبب أنسداد ناشرات الهواء. كمـا أن تقليب المياه باستمرار يحسن التهوية ولتحقيق ذلك توضع ناشـرات الـهواء علـى جانب واحد من قاع الحوض لاعطاء الماء حركة حلزونية والتى تساعد على بقـاء الفقاعات فى الحوض فترة من الزمن ومنع هروبها بسرعة إلى السطح شـكل (ب) ويبن الشكل (جـ) حوض تهوية يعمل بنفس النظرية ولكن باستعمال أنابيب مثقبـة أو مسامية توضع عند منتصف عمق الحوض، وبالحوض أيضـا حوائـط حائلـة لاعطاء المياه حركة حلزونية.

وتصمم هذه الأحواض على أساس ٣٠ متر مكعب فى الساعة لكل متر مسطح واستهلاك الهواء يقدر بحوالى متر واحد من الهواء لكل متر مكعب من المياه وهذه

تحتاج الى طاقة عالية نسبيا. وللحوض قاع مخروطى لجمع الرواسب وتصريفـــها فى ماسورة خاصة.

٨- ضوابط استعمالات التهوية : Limitation For Aeration

* أكثر التطبيقات العملية للتهوية تتم بغرض إدمصاص الغازات والتخلــص مــن الغازات أساسا بالنسبة للأكسجين وثانى أكسيد الكربون وكبريتيد الـــهيدروجين. عند تهوية المياه فإن المحتوى من الأكسجين المذاب يزداد بما يجعل المياه أكــثر عدوانية للتآكل. وإن كان هناك إجراءات لتجنب هذه المشكلة.

* إن استخدام عمليات التهوية بعد الترشيح أو لمعالجة مياه الآبار كعمليـــة وحيــدة تشكل بعض السلبيات نظرا لتعرض المياه للهواء المحمل بالملوثات وذلك عنـــد التهوية قبل الضخ المباشر فى شبكة التوزيع. وكذلك فإن التهويـــة الزائـــدة قـــد تحدث أثر سلبى عند إزالة الحديد والمنجنيز وذلك عند وجــود هــذه العنـــاصر متحدة مع المواد العضوية وفى هذا الحالة إذا كان المصدر المائى من المجــارى السطحية العزبة يتم التخلص من الحديــد والمنجنــيز فــى مراحــل المعالجــة بالمروبات والترسيب والترشيح حيث تزال كذلك المواد العضوية. وعندما يكون المصدر هو مياه الآبار نفضل عمل تهوية بسيطة أو استخدام مواد الأكسدة مـــن الكلور ويرمنجات البوتاسيوم.

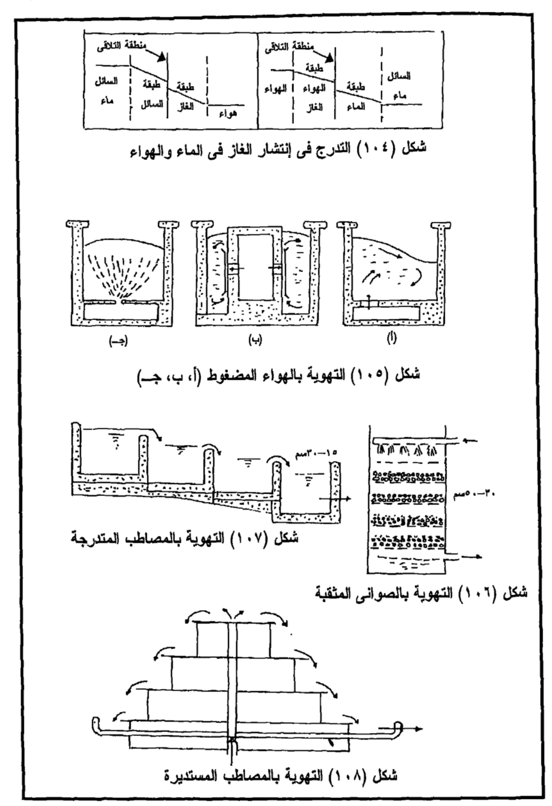
* معظم المشاكل الخاصة بالمذاق والرائحة لمصادر المياه يكــون ســببها كميــات صغيرة من المواد العضوية، وكثير من هذه المواد العضوية ليس لديها القـــدرة الكافية على التطاير (التبخر) لتتجاوب مع عمليات التهوية التقليدية. ولهذا فـــإن عمليات التهوية التقليدية ليست مؤثرة فى إزالة المذاق والرائحـــة فــى جميــع الحالات. ولكن هناك أستثناءات من هذا التعميم فعند التهوية باستخدام الضغـــط المرتفع أثبتت تقليل الرائحة بنسبة ٩٨% عند استخدام ضغط ٧-٨ كـــج /ســم^{٢} عند فتحات الفنى (Nozzles). ولكن مشكلة استخدام الضغط المرتفـــع للتهويـــة يسبب البرى والتلف للريش الدافعة لفتحات الفنى وأن كان هـــذا التلــف يرجـــع للعكارة فى المياه المعالجة فى حالة وجودها.

* بالنسبة لإزالة ثانى أكسيد الكربون وبعض الغازات الآخرى فعند استخدام التهوية التى تعمل بتدفقات المياه.فإن الضغط المطلوب هو حوالى ٤ متر والاحتياجات من المعدات لضغط الهواء هى تقريبا المطلوبه لعمليات بثق الهواء (Air Diffusion). أى أن الطاقة المطلوبة فى الحالتين تقريبا متساوية . وقد بثت أنه فى حالة تركيز ثانى أكسيد الكربون فى الماء ١٠ جزء فى المليون أو قل فإنه يتم إزالة ثانى أكسيد الكربون بالتعادل الكيميائى باستخدام الجير (Lime) وليس بالتهوية. ويعتبر إزالة ثانى أكسيد الكربون من المياه الجوفية ذو أهمية خاصة عند معالجة المياه لإزالة العسر بطريقة الجير – الصودا (Soda-Lime Process). كما أن التهوية تضيف الأكسجين الى الماء الذى يتم به أكسده الحديد والمنجنيز والتهوية تزيل كبريتيد الهيدروجين من المياه الجوفية حيث يمكن إزالة تركيزات من ١-٢ جزء فى المليون والتى لها تأثير على الرائحة. ولكن التركيزات الأعلى يمكن إزالتها بزيادة زمن التهوية أو باستخدام التهوية فى مجال جوى به ضغط جزئى عالى من ثانى أكسيد الكربون أو إضافة قلوى إلى الماء.

* الأبراج للتهوية ذات الحشو : Packed Towers شكل (١١٢)

لقد استخدمت فى عمليات الكسح (Stripping) للملوثات شديدة التطاير مثل كبريتيد الهيدروجين. ولكن توجد مجموعة من الكيماويات العضوية المتطايرة (Volatile Organic Chemicals) بالإضافة الى مركبات الترايها لوميتان أقل فى التطاير والتبخر مما يتطلب استخدام أكثر كفاءة لإزالتها.

البرج ذو الحشو النموذجى يتكون من جسم أسطوانى به قرص لحمل مادة الحشو (Packing Material). مادة الحشو تكون من قطع عشوائية فى البرج. ويصنع جسم البرج من الصلب أو السيراميك أو البلاستك. وتستخدم التهوية فى هذه الأبراج بالتدفق المعاكس حيث تتدفق المياه الى أسفل داخل البرج ويمر الهواء الى أعلا. ويمكن كذلك تصميم الأبراج بالتدفق الموازى والتدفق المتقاطع



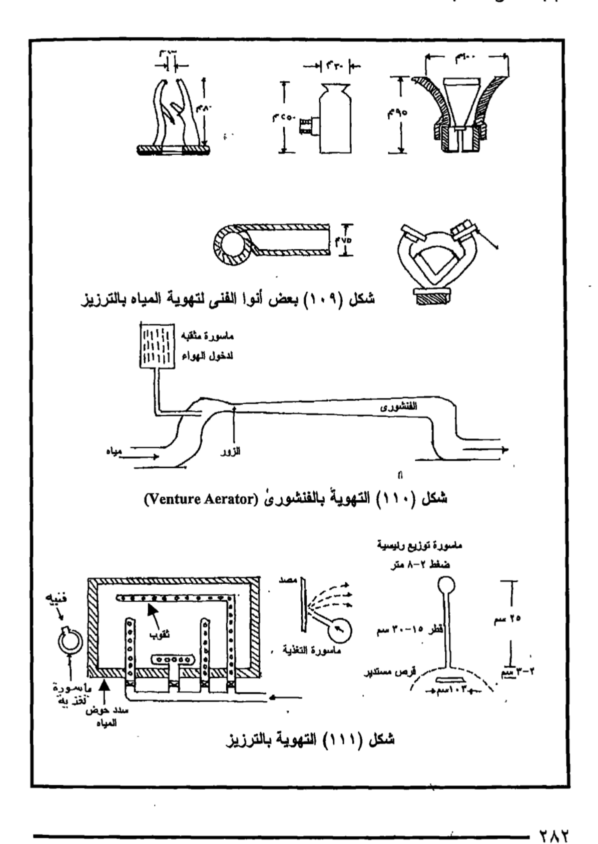
شكل (١٠٤) التدرج فى إنتشار الغاز فى الماء والهواء

شكل (١٠٥) التهوية بالهواء المضغوط (أ، ب، جـ)

شكل (١٠٧) التهوية بالمصاطب المتدرجة

شكل (١٠٦) التهوية بالصوانى المثقبة

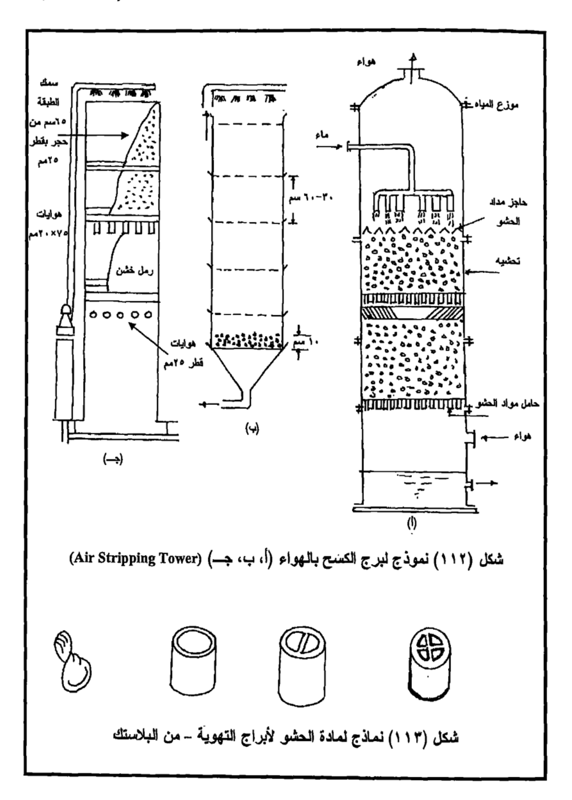
شكل (١٠٨) التهوية بالمصاطب المستديرة



شكل (١٠٩) بعض أنوا الفنى لتهوية المياه بالترزيز

شكل (١١٠) التهوية بالفنشورى (Venture Aerator)

شكل (١١١) التهوية بالترزيز



شكل (١١٢) نموذج لبرج الكسح بالهواء (أ، ب، جـ) (Air Stripping Tower)

شكل (١١٣) نماذج لمادة الحشو لأبراج التهوية - من البلاستك

القسم الرابع

إزالة الحديد والمنجنيز
من مياه الشرب والاستخدام المنزلى

مقدمة :

مركبات الحديد والمنجنيز بالإضافة إلـــى مركبـــات الكالســـيوم والمغنيســـيوم والألومنيوم من مسببات العسر فى المياه. يوجد الحديد والمنجنـــيز فـــى صخـــور وأملاح التربة فى شكل مركبات الكربونات والأكاسيد والكبريتيد (Sulphides)، كما يوجد فى الطفلة وفى أنسجة الكائنات الحية. الحديد والمنجنيز من الملوثات الغـــير مقبولة فى مياه الشرب والاستخدام المنزلى.

١- الحديد والمنجنيز فى مصادر المياه الجوفية والسطحية :

أ- فى مصادر المياه الجوفية :

يوجد الحديد والمنجنيز فى كثير من مصادر المياه الجوفية ويوجـــد المنجنـــيز عادة مع الحديد ولكن بنسب اقل. المياه الجوفية عادة تحتوى على نسب عالية مـــن ثانى أكسيد الكربون ونسب قليلة من الأوكسجين المذاب ويرجع تكون ثاني أكســـيد الكربون إلى تحلل المواد العضوية فى التربة لا هوائيا وفى هـــذه الظـــروف فـــان أملاح الحديد والمنجنيز فى الشكل عالى التكافؤ تكون غير مذابة وعند توفر ثـــانى أكسيد الكربون وغيبة الأكسجين تتحول هذه الأملاح الغير مذابة الـــى المركبـــات

المذابة ثنائية التكافؤ مثل ايدروكسيد وبيكربونات الحديدوز والمنجنيز ثنائى التكافؤ (Manganous). (Mn^{++} , Fe^{++}). وكذلك توجد الكبريتات المذابة فى المياه الجوفية وكذلك يوجد الايون الثنائى التكافؤ للحديد والمنجنيز محتوى على كبريتيد الهيدروجين.

كما يوجد الحديد والمنجنيز مرتبط بالمركبات العضوية الناتجة عن تحلل الكائنات الحية (النباتات والحيوانات) والتى تسمى بالحامض الاصفر فى المياه (Yellow Acid) والذى يتحد مع مركبات الحديدوز مكونا مركبات عضوية وهذة مواد ملونة معقدة (Complex).

ويوجد الحديد فى المياه الجوفية بنسب حتى ٢٥ جزء فى المليون وقد يزيد عن ذلك أو يقل كما أن المنجنيز يوجد عادة بنسب اقل من واحد جزء فى المليون. الملاحظة العامة ان المياه ذات القلوية العالية بها نسب اقل من الحديد والمنجنيز عن المياه ذات القلوية المنخفضة وكذلك فان تركيز الحديد فى المياه الجوفية حيث التربة الحاملة تكون زلطية يكون اقل منه فى التربة الحاملة الصخرية مركبات الحديد المتحدة مع مواد عضوية (Colloidal) أو الغير مذابة تزال بفعل الترشيح للتربة الحاملة للمياه الجوفية أثناء ضخ المياه من البئر الجوفى.

ب – الحديد والمنجنيز فى مصادر المياه السطحية :

يوجد الحديد فى مصادر المياه السطحية المحتوية على الأكسجين فى أشكال مختلفة من الحديد الثلاثى التكافؤ (الحديديك –Ferric Iron) فقد يوجد فى مستحلب الطفلة والطين، والأجسام العالقة الصغيرة من أكسيد الحديديك المائى تكون فى شكل جيلاتينى (Colloidal) أو فى شكل مركب عضوى معقد ملون أو فى شكل أجسام محاطة بمواد مانعة لظهور اللون (Chelated) كما يوجد فى شكل مواد ومركبات غير عضوية أو مركبات مع مواد عضوية عالقة. فى العينات المرشحة من المياه المحتوية على أكسجين نادرا ما تزيد نسبة الحديد عن واحد جزء فى المليون. أما المنجنيز فانه يوجد فى المياه السطحية فى شكل مركبات عضوية عالقة محتوية على المنجنيز رباعى التكافؤ وكذلك فى شكل مركبات ثلاثية التكافؤ المعقدة القابلة

للذوبان نسبيا وفى المركبات المعقدة الغير عضوية. وفى الحالة المذابة كأيون المنجنيز ثنائي التكافؤ نادر ما تزيد نسبة المنجنيز فى المياه السطحية عن واحد جزء فى المليون وغالبا ما يوجد المنجنيز بنسبة من ٠,١ الى ١ جزء فى المليون وتصل نسبة المنجنيز من ثلث الى نصف نسبة الحديد.

جـ- المشاكل التى يسببها وجود الحديد والمنجنيز فى المياه :

يحدث عند غسيل الملابس أو الأواني أو أى أجسام تلامسها المياه المحتوية على الحديد والمنجنيز وجود بقع ملاصقة قبيحة المنظر غير قابلة للذوبان ذات لون الصدأ البنى والأصفر والرمادى والاسود. المنجنيز لاذع فى حالة زيادة نسبته فى مياه الشرب والحديد والمنجنيز يحول مشروب الشاى الى اللون الأسود ويغمق لون الخضراوات المغلية كما انه غير صالح لإعداد الأطعمة من بعض البقول مثل العدس ويعطى الحديد مذاق معدنى ما بين المر والحلو ويمكن اكتشافه بواسطة الذواقة عند تركيز ١-٢ مليجرام فى اللتر ويشكل كل من الحديد والمنجنيز مشاكل فى العمليات الصناعية التى تدخل فيها المياه.

ويساعد وجود الحديد والمنجنيز على نمو وتكاثر البكتريا والذى يسبب الانسداد للمواسير والوصلات والمحابس بما يزيد استهلاك الطاقة كما أن البكتريا المؤكسدة للحديد تعمل على ترسيب الحديد في شبكة التوزيع والسباكة المنزلية بما يسبب اللون الأحمر للمياه وبما يزيد من تراكم الترسيبات. بالإضافة إلي ذلك فإنه عندما تتحلل البكتريا فإنها تسبب مذاق ورائحة غير مقبولة للمياه بما يجعله غير مناسب للشرب. وعند تحلية المياه بطريقة التبادل الأيوني أو بأستخدام الأغشية (Membranes) فانه يلزم التخلص من الحديد والمنجنيز لتجنب الترسيب والأنسداد مما يتطلب التنظيف بصفة مستمرة للمحافظة علي كفاءته.

وقد وجد من الخبرة ان الحديد غير مقبول بنسبة اكبر من ٠,٢ جزء في المليون والمنجنيز بنسبة ٠,١ جزء في المليون وللأغراض الصناعية فان الحديد قد يصل إلي ٠,١ جزء في المليون والمنجنيز ٠,٠٥ جزء في المليون. وقد أجازت وزارة الصحة نسب الحديد حتي ٠,٥ مليجرام / لتر والمنجنيز حتي ٠,٣ مليجرام /

لتر في قانون البيئة ٤ / ٩٤ في حالة استخدام المياه لأغراض الشرب الاستخدام المنزلي.

د- إزالة الأشكال المختلفة للحديد والمنجنيز :

رغم إن الحديد والمنجنيز سواء المذاب أو الغير مذاب يوجد في أشكال متعددة في مصادر المياه السطحية المحتوية علي الأكسجين المذاب فإن وجودهم في المياه المرشحة محدود إلي درجة كبيرة بما لا يزيد عن ١ مليجرام وذلك لإزالتهم في عمليات المعالجة بالمرشحات. ولكن لا يعتمد عليها في إزالة المنجنيز المذاب. المعالجة الأولية بواحد أو اكثر من العوامل المؤكسدة يؤكسد المنجنيز المذاب إلي ثاني أكسيد المنجنيز الغير قابل للذوبان في الماء.

$$2MnO + O_2 \longrightarrow 2\,MnO_2 \downarrow$$

وجود غطاء من ثاني أكسيد المنجنيز الغير مذاب علي حبيبات الرمل في المرشح لا يساعد فقط في خفض المنجنيز إلي المستوي المطلوب ٠,٥ مليجرام / لتر ولكن يساعد في الحصول علي مياه مرشحة تحتوي علي حوالي ٠,٠١ مليجرام / لتر منجنيز وهي الحالة المثالية لنوعية المياه.

اللون العضوي في المياه السطحية مرتبط عادة بالمياه ذات القلوية الضعيفة أو المنعدمة ويزال اللون عند استخدام الشبة كمروب. كما أن استخدام كبريتات الحديديك كمروب ممتاز في مجال رقم هيدروجيني من ٦,٥ – ٨,٥. عند إزالة العسر للمياه من المصادر السطحية المحتوية علي الأكسجين المذاب بواسطة عملية الجير – الصودا (Soda - Lime) فانه يتم إزالة الحديد والمنجنيز المذاب والغير مذاب مع باقي أملاح العسر. وتعتبر هذه الطريقة مؤثرة في إزالة المنجنيز نظرا لارتفاع الرقم الهيدروجيني.

يوجد ثلاث أشكال للحديد والمنجنيز في المياه الجوفية والتي يلزم إزالتها

* أيونات الحديدوز عادة مع مركبات عضوية ملونة وكذلك المنجنيز ثنائي التكافؤ مع مركبات عضوية ملونة ثم اللون حيث جزء بسيط منه متحد مع الحديد وكذلك يحتمل مع المنجنيز.
* المياه الملوثة ليست بالضرورة مياه سطحية، اللون العضوي في المياه الجوفية مرتبط عادة بالمياه العسر في الآبار الضحلة.

عندما تحتوي المياه الجوفية الملونة علي ٥ – ١٠ مليجرام / لتر من الحديد يوجد ثلاث أنواع من معالجات يمكن عملها.

* المعالجة الأولية بالتهوية ثم الترويب والترسيب والترشيح.
* المعالجة الأولية بالتهوية ثم الأكسدة بالكلور أو ثاني أكسيد الكلور أو الآوزون.
* الترويب والترسيب مع إضافة ١– ٣ مليجرام / لتر من كبريات الحديديك كعامل تزغيب في حالة تركيزات الحديد القليلة.

كما يمكن إزالة أيون الحديدوز والمنجنيز ثنائي التكافؤ سوياً مع باقي أيونات العسر من المياه الجوفية باستعمال الزيوليت الخاص بإزالة العسر، وذلك مع الحرص من دخول الهواء الي المبادل الأيوني حتي لا يرسب الحديد المؤكسد ويسبب الأنسداد أو التلف لطبقة التبادل الأيونى. وقد أصبح المألوف حالياً إزلة الحديد والمنجنيز بالتهوية مع استخدام مفاعل طبقة الحماة (Sludge Blanket) من أكاسيد الحديديك والمنجنيز الرباعي ثم الترشيح وذلك قبل استخدام التبادل الأيوني لإزالة الملوحة. تقل إزالة أيون الحديد والمنجنيز عند أكسدة الحديد الي الثلاثي التكافؤ والمنجنيز الي الرباعي التكافؤ حيث يحدث ترسيب وأندماج مما يسهل إزالتهم بالترشيح.

هـ- التفاعل مع المؤكسدات :

عند أكسدة الحديد الثنائي الي الثلاثي التكافؤ فإن هذه الأكسدة تذيد الحديد بمكافئ واحد وفي حالة أكسدة المنجنيز الثنائي الي المنجنيز الرباعي التكافؤ فأن الأكسدة للمنجنيز تزيد بمعدل ٢ مكافئ

لذلك فإنه يصرف النظر عن الوزن الذري للحديد والمنجنيز فـــإن المنجنـيز الثنائي يتطلب عملياً ما يعادل حوالي ضعف المؤكسد الذي يتطلبه الحديد الثنـــائي. يهتم المصمم بإيجاد الحديد والمنجنيز في الشكل الغير مذاب أثناء عملية الأكسدة مع إزالة الرواسب في العمليات التالية. ويلاحظ أنه بزيادة سرعة الأكسدة يتكون راسب الأيدروكسيد ومع بطئ تفاعل الأكسدة تتكون الكربونات. العوامل المؤكسدة عـــادة والتي تشمل الكلور وثاني أكسيد الكلور وبرمنجات البوتاسيوم. يظهر في الجـــدول التالي كمية المؤكسد المطلوب والقلوية المستهلكة وتقدير للراسب المتكون.

الرواسب المتكونة تكون أساسا من إيدروكسيد الحديديك وثاني أكسيد المنجنـيز ($Fe(OH)_3$ & MnO2) مع احتمال تكون كربونات الحديد وفورمـــات المنجنـيز المتحد مع ثاني أكسيد المنجنيز ($Mn(OOH)_2$) MnO_2 - .

أكسدة الحديد:

التفـــاعل	(المؤكسدة) مليجرام / مليجرام حديد ثنائي	(القلوية المستخدمة) مليجرام / مليجرام حديد ثنائي
أ – الأكسجيـــــن $Fe(HCO_3)_2 + O_2 + {}_2H_2o= 4Fe(OH)_3 + 8CO_2$	٠,١٤	١,٨
ب – الكلـــــــور $2Fe(HCO_3)_2 + Ca(HCO_3)_2 + Cl_2 = 2Fe(OH)_3 + CaCl_2 + 6CO_2$	٠,٦٤	٢,٧
جـ – البرمنجفـــات $3Fe(HCO_3)_2 + KmnO_4 + {}_2H_2O = 3Fe(OH)_3 + MnO_2 + KHCO_3 + 5CO_2$	٠,٩٤	١,٥
د – ثـانـــي أكسيـد الكلـــور $Fe(HCO3)_2 + Na\ HCO_3 + ClO_2 = Fe(OH)_3 + Na\ Cl_2 + 3CO_2$	١,٢١	٢,٧

أكسدة المنجنيز :

التفـــاعـل	(المؤكسد) مليجرام / مليجرام منجنيز ثنائي	(القلوي المستخدم) مليجرام / مليجرام منجنيز ثنائي
أ – الأكسجيــــــــن $2\ MnSO_4 + {}_2Ca(HCO_3)_2 + O_2 = 2MnO_2 + {}_2CaSO_4 + {}_2H_2O + 4CO_2$	٠,٢٩	١,٨
ب – الكلـــــور $Mn(HCO_3)_2 + Ca(HCO_3)_2 + Cl_2 = MnO2 + CaCl_2 + 2HO_2 + 4CO_2$	١,٢٩	٣,٦٤
جـ- ثــاني أكسيـــد الكلــور $Mn(HCO3)_2 + 2NaHCO_3 + 2ClO_2 = MnO_2 + 2NaClO_2 + 2H_2O + 4CO_2$	٢,٤٦	٣,٦
د – برمنجفـــات البوتاسيـــوم $3Mn(HCO_3)2 + KmnO_4 = 5MnO_2 + 4HCO_3 + 2H_2O + 4CO_2$	١,٩٢	١,٢١

٣- ديناميكا التفاعل مع الأكسجين :

إن معدل أكسدة الحديدوز في أي رقم هيدروجيني هو دلالة لتركيز الحديـــدوز في حالة توفير الأكسجين حيث يقل معدل الأكسدة كلما قل التركيز. ومـــن ناحيــة أخري فان معدل أكسدة الحديدوز يتوقف علي الرقم الهيدروجيني بدرجـــة كبــيرة حيث يزداد مائة مرة لكل زيادة واحدة فى الرقم الـــهيدروجينىعند ثبــات درجــة الحرارة. وتأثر الأكسدة بدرجة الحرارة أقل حيث تزداد عشرة مرات لكل إرتفـــاع في درجة الحرارة مقداره ٨ درجات مئوية. في المياه المحتوية علي البيكربونــــات وعند درجة حرارة ١٦°م فإن الأكسدة تتم ببطئ شديد جدا عند رقـــم هيدروجينـــي ٦,٥ ولكن عند رقم ٦,٩ & ٧,٢ فإن الوقت اللازم لإكمال التفاعل بنســبة ٩٠% هو تقريبا ٤٨ دقيقة، ٨ دقائق وأقل من دقيقة عند نفـــس درجـــة الحـــرارة ورقـــم هيدروجيني ٧,٩. القلوية المرتفعة تساعد كذلك علـــي أكســدة أيــون الحديــدوز. وللحصول علي أكسدة فورية لأيون الحديدوز فـــي الميـــاه الجوفيـــة ذات القلويـــة

المنخفضة، فإنه من الضروري رفع قلوية البيكربونات إلي ١٠٠ – ١٣٠ مليجرام / لتر مقيمة ككربونات كالسيوم.

قد تكون التهوية غير مؤثرة في المياه المحتوية علي مركبات عضوية مركبة وذلك لأن الحديدوز يمكن أن يكون مركبات عضوية مركبة مع هذه المواد العضوية ومنها أحماض التينك (Tannic Acids) وهذه المركبات يمكن أن تعيق تماما أكسدة الحديدوز لعدة أيام حتي عند توفر الأكسجين. أيون النحاس ثنائي التكافؤ (Cu++) يؤثر علي سرعة أكسدة أيون الحديدوز كعامل وسيط حتي ان الكميات الصغيرة جدا (Traces) لها تأثيرها علي معدل التفاعل ولا يتأثر هذا العامل الوسيط بدرجة الحرارة أو في حالة تكوينها لمركبات معقدة مع المواد العضوية ومن العوامل المساعدة لسرعة أكسدة الحديد والمنجنيز ايونات الفسفور ثنائية الهيدروجين (H2PO4) لاتحادها مع المنجنيز ثنائي التكافؤ والحديد ثلاثي التكافؤ لتكون مركبات معقدة. وكذلك أيون الميتافوسفيت أحادي التكافؤ (P_2O_5) يمكنه العمل كعامل وسيط لإسراع عملية الأكسدة للحديدوز وكذلك السيلكا تعمل كعامل وسيط في تفاعل الأكسدة.

أكسدة المياه المحتوية علي المنجفير الثنائي والرباعي يؤدي الي ترسيبه في شكل ثنائي أكسيد المنجنيز أو إزالته من المياه. وتتوقف أكسدة المنجنيز مثل الحديد علي الرقم الهيدروجين حيث يقل معدل الأكسدة عند رقم هيدروجيني أقل من ٩ وعند الوصول الي رقم هيدروجيني ٩,٥ يزاد على الرقم الهيدروجينى فقط معدل الأكسدة بوضوح. ولا يتوقف معدل الأكسدة للمنجنيز على الرقم الهيدروجينى فقط بل كذلك على ثانى أكسيد المنجنيز وقد ثبت أن ثاني أكسيد المنجنيز يقوم بامتصاص المنجنيز ثنائي التكافؤ. امتصاص ثاني أكسيد المنجنيز يزداد بمعدل ٢,٥ مرة من ٠,٣ جرم منجنيز ثنائي لكل واحد مليجرام ثاني أكسيد المنجنيز عند رقم هيدروجيني ٧ إلى ٠,٧٥ ملجرام منجنيز ثنائي لكل واحد مليجرام ثنائي أكسيد المنجنيز عند رقم هيدروجين ٨. وذلك يعني أنه يمكن إزالة المنجنيز الثنائي من المياه بامتصاصه علي ثاني أكسيد المنجنيز في مجال رقم هيدروجيني الموضح فى الشكل (١١٤). وبدون رفع الرقم الهيدروجيني فإنه بزيادة ترسيب ثاني أكسيد

المنجنيز المؤكسد يمكن زيادة إدمصاص المنجنيز الثنائي التكافؤ الموجود في الماء. ويمتص كذلك المنجنيز الثنائي علي أكسيد وإيدروكسيد الحديديك.

يتوقف كذلك امتصاص المنجنيز الثنائي علي الرقم الهيدروجيني فكلما زاد الرقم الهدروجيني وخاصة عند رقم هيدروجيني أكبر من ٨,٢ كما في الشكل (١١٥). يزداد امتصاص المنجنيز الثنائي علي إيدروكسيد الحديديك ثلاث مرات عند ارتفاع الرقم الهيدروجيني من ٨,٢ إلي ٨,٧. وهذا يعني أنه يمكن إزالة المنجنيز الثنائي من المياه بالإمتصاص علي أيدروكسيد الحديديك أو أكسيد الحديديك المائي في مجال الرقم الهيدروجيني الموضح بالشكل (١١٥). وذلك بدون رفع الرقم الهيدروجيني إلي درجة غير عملية. ولذا فان الرقم الهيدروجيني الأكثر مناسبة لترسيب إيدروكسيد الحديديك أو أكسيد الحديديك بالأكسدة هو نفس المجال للرقم الهيدروجيني لامتصاص المنجنيز الثنائي علي كل من ايدروكسيد الحديديك أو أكسيد الحديديك أو ثنائي أكسيد المنجنيز.

ودراسة معدل الأكسدة في مجال رقم الهيدروجيني مرتفع أظهرت أن ١٠ مليجرام / لتر من أيون المنجنيز الثنائي بدون خلط والذي يقلل من امتصاصه لأقل حد ، فإن كفاءة التفاعل هي ٩٠% في زمن ١٥ دقيقة عند رقم هيدروجيني ٩,٩٥، أن المنجنيز الثنائي يمكن أن يقل عند رقم هيدروجيني ١٠,١ الي ٠,٥ مليجرام / لتر أو أقل في بضع دقائق.

مركبات المنجنيز الثنائي والرباعي مثل الحديد الثنائي يمكن ان يكون مركبات عضوية معقدة غالبا ملونة مع أحماض الهيوميك (Humic Acids) ومواد أخري نتيجة تحلل النباتات وهذه المركبات مثل مركبات الحديدوز تؤخر عملية الأكسدة لمركب المنجنيز الثنائي والرباعي.

٣- استخدام الهواء الجوي :

التهوية تعتبر الخطوة الأولى الضرورية لإزالة الحديد والمنجنيز من المياه المعزولة عن الهواء (المياه الجوفية). التهوية تحقق السرعة في امتصاص الأكسجين من الهواء والتخلص من ثاني أكسيد الكربون وكبرتيد الهيدروجين.

التخلص من ثاني أكسيد الكربون يعمل علي رفع الرقم الهيدروجيني للمياه وهذا يساعد علي التخلص من كبرتيد الهيدروجين وكذلك علي ترسيب الحديدوز الي أيدر وكسيد حديديك او أكسيد الحديديك وكربونات الحديديك التهوية في الأبراج المفتوحة لا تزيل كل ثاني أكسيد الكربون كما ان ازالة ثاني أكسيد الكربون تقل كلما زادت القلوية او كمونها (Buffer).

تهوية المياه المحتوية علي الحديد والمنجنيز هي عملية عادية حيث أن بيكربونات الحديدوز المذابة في الماء ليس لها لون بينما أيدر وكسيد الحديديك له درجة إذابة ضعيفة (أقل من ٠,١ جزء في المليون). ونتيجة لذلك، فعند أكسدة بيكربونات الحديدوز فإن محتوي الماء من الحديد يرسب في شكل أيدروكسيد حديديك. عملية الأكسدة هذه تكون تامة وسريعة عند رقم هيدروجيني ٧ فاعلي أما عند رقم هيدروجيني اقل فإنها تكون بمعدل بطيء جداً والتفاعل كالآتي:

$$2Fe(HCO_3)_2 + 2H_2O + \frac{1}{2}O_2 \longrightarrow 2Fe(OH)_3 + 4CO_2$$

أكسدة بيكربونات المنجنيز الذي نادرا ما يوجد في الماء مشابه لبيكربونات الحديدوز إلا أن الرقم الهيدروجيني يجب أن يرتفع كما أن الزمن اللازم لإتمام التفاعل اكبر. لذلك عندما يكون كلا من الحديد والمنجنيز مذاب في الماء فانه ومن الضروري رفع الرقم الهيدروجيني إلي ١٠. حيث عند رقم هيدروجيني أقل فان الحديد يترسب والمنجنيز يظل مذاب في الماء عند الماء الأكسدة بالهواء الجوي. ويرفع الرقم الهيدروجيني بإضافة لبن الجير، والصودا الكاوية أو الصودا آش، ولإزالة الحديد فقط فانه ليس ضرورياً إضافة قلوى لأن التهوية تزيل جزيئات ثاني أكسيد الكربون بما يعمل علي رفع الرقم الهيدروجيني. رغم هذا فان الزيادة في الرقم الهيدروجيني قد لا تكون كافية دائما لإزالة الحديد، عندئذ فانه يلزم إضافة قلوي.

المعدات المستخدمة في التهوية :

نوع جهاز التهوية المستخدم يتوقف علي عدة عوامل وهي المحتوي من ثاني أكسيد الكربون، الإزالة للحديد والمنجنيز وكبرتيد الهيدروجين، درجة الإزالة المطلوبة، وحجم المياه التى سيتم معالجتها.

المستخدم عادة في تصميم معدات التهوية وهو جهاز الهواء الذي يعمل بضغط الهواء والألواح الخشبية أو برج التهوية المملوء بمادة تحشية (Tower Packed). نموذج برج التهوية وتوزيع الهواء المضغوط لسحب الغازات في الشكل (١١٦) ويتكون من منشأ مغلق دائري أو مربع محتوياً علي عدد من الصواني ذات الألواح الخشبية حيث الفواصل بين الألواح غير متعامدة ما بين العليا والتي تليها. المياه تدخل من أعلا برج التهوية وتوزع بانتظام. نظراً لعدم تعامد الألواح الخشبية المكونة للصواني علي بعضها البعض فان طبقة المياه الرقيقة التي تسقط علي الأطراف لأحد هذه الألواح تسقط علي وسط اللوح في الصينية التي أسفلها. وعند قاع البرج فان المياه التى يتم تهويتها تتدفق بمعزل عن الهواء إلي حوض تجميع. تتم التغذية بالهواء إلي قاع البرج بواسطة جهاز دفع الهواء (Aerator) والذي يدفعه إلي أعلا خلال برج التهوية وفي اتجاه معاكس لسقوط المياه بمعدل قدم مكعب من الهواء في الدقيقة لكل جالون في الدقيقة من المياه (بما يعادل ٣٠ لتر من الهواء في الدقيقة لكل ٣,٧٨٥ لتر من المياه). في الجزء العلوي من برج التهوية فإن الهواء مضافا إليه المحتوي من الغازات التي أزيلت يتم سحبه من خلال عوائق هوائية (Air Baffles) إلي الجو فوق صينية الموزع والذي منها يخرج الهواء إلي الجو.

الكفاءة العالية لهذا النوع من الهوايات يرجع إلى التحكم العكسي لكل من الهواء والماء بالإضافة إلى عمل عدد كبير من ألواح الصواني وما توفره من طبقات متجددة من المياه وتنقيط للمياه. المعدل التطبيقي المستخدم لتصميم هذا النوع من الأبراج هو ٣٠ – ٤٠ جالون في الدقيقة لكل قدم مربع. كثير من الهوايات (Aerators) القديمة والتي سميت فيما بعد بهوايات التلامس (Contact Aerators) كانت تتكون من صواني محتوية علي فحم مجروش ويرش فوقها المياه المحملة بالحديد علي طبقات الفحم بعمق من ٦ – ١٠ قدم وكانت تسمى المرشحات (Tricklers). وللحصول علي اكبر سطح للتلامس فإن الوسط الترشيحي في جهاز التهوية يتكون عادة من فحم النباتي، الزلط، الرخام، الحجر الجيري حيث يتم الترشيح بعد التهوية فى مرشح التلامس. وبذلك أصبح إمكان إزالة الحديد والمنجنيز باستخدام الهوايات. مرشح التلامس يستخدم فيه عادة فحم الكوك ذو أحجام كبيره نسبياً يليه أحواض الترسيب ثم الترشيح.

وعند استخدام مادة ناعمة في جهاز التهوية بالتلامس يتم توفير مساحة كبيره. بما يوفر فراغ كافى لاحتواء الحديد المرسب. ويستخدم في هذا المرشح فحم نباتي لحجز المواد العالقة بما يترتب عليه عدم الحاجة الي استخدام الترسيب والترشيح. اما الهوايات بالصواني ذات الثقوب الغير متعامدة علي بعضها البعض (Staggard Slot Trays) فقد استخدمت لاىالة الحديد والمنجنيز في التهوية ثم الترشيح. والهوايات ذات الضغط (Pressure and Forced draft) فقد انتشر استخدامها في التهوية حيث أن أيدروكسيد الحديد الراسب في وحدات التهوية التي تستخدم سحب او ضغط الهواء (Pressure or Forced draft) سوف يمكنها إدمصاص كميات صغيرة من المنجنيز الموجود في الماء.

أجهزة التهوية والترشيح واجهزة التهوية والمكث (Detention) والترشيح تستخدم عند احتواء المياه الجوفية علي ٥ – ١٠ مليجرام / لتر من الحديد ومازالت التهوية بالصواني المتعاقبة التي بها مادة التلامس تستخدم حتي الآن. كما أدخلت نظم سرعة الترسيب للحديد بإضافة الجير – الصودا آس في حوض المكث بعد التهوية لرفع القلوية إلي ١٠٠ – ١٣٠ مليجرام / لتر.

وفي حالة إضافة ايون النحاس (كبريتات النحاس $CuSO_4.2H_2O$) كعامل وسيط للأكسدة قبل التهوية مباشرة حيث ثبت في أحد وحدات المعالجة أن آيون الحديدوز لكي يتأكد إلى الحديديك إنخفض زمن المكث من ٩٠ دقيقة إلى ١٨ دقيقة بإضافة ٠,١ مليجرام / لتر نحاس (كبريتات النحاس المائية تزن ٣,٩٣ ضعف النحاس).

إذا كان التركيز الحديد في المياه الجوفية من ٥ – ١٠ مليجرام / لتر فإن المعالجة بالتهوية يمكن ان يليها الترويب والترغيب ثم الترسيب والترشيح. حيث يدون الترويب والترغيب فان الحديد المؤكسد يمكن ان يتطلب من ١٢ – ٢٤ ساعة أو أكثر ليرسب تماما بينما في حالة الترسيب بالمروبات يتطلب زمن ٢ ساعة في حالة وجود المنجنيز الثنائي يلزم الأكسدة بواحد أو أكثر من المؤكسدات بجانب إزالة المنجنيز بالإدمصاص فإنه يزال كذلك بالترشيح خلال مرشح رملي حيث تتكون طبقة من ثاني أكسيد المنجنيز علي حبيات الرمل.

بعد الترغيب والترويب تمر المياه إلى أعلا خلال طبقة الرواسب بمُعدل ارتفاع او تدفق باللتر / سم² / الثانية من السطح المؤثر. طبقة الراسب الطافئ في مثل هذا الاستخدام بها تركيز المواد العالقة حوالي ٠,٠٨ الي ١ % أو ٨٠٠ إلى ١٠٠٠ مليجرام / لتر والتي تتكون معظمها من أيدر وكسيد الحديديك وكربونات الكالسيوم وبعض أكسيد المنجنيز الرباعي المائي. وبهذا يتكون افضل مرشح تلامسي (Contact Filter) حيث لا يوجد انسداد وذو طاقة او إدمصاص لا نهائية حيث مع مرور المياه لأعلي خلال طبقة الرواسب (Sludge Blanket) يمتص المنجنيز الثنائي المتبقي والذي لم يحدث له أكسدة أثناء عملية الترويب. وبعض هذه الأيونات الممتصة تحدث لها أكسدة بواسطة الأكسجين المذاب في الماء وترسب ثاني أكسيد المنجنيز.

٤- استخدام المؤكسدات :

أ- استخدام الكلور :

في كثير من الحالات فان إضافة الكلور بعد التهوية سواء في حالة التهوية / المكث (Detention). الترشيح او التهوية. الترسيب. الترشيح يساعد علي الأكسدة. ففي حالة االكلوره للمياه فإنها تزيد من كفاءة المرشح.

رغم ان المنجنيز الثنائي المؤكسد إلى الرباعي لا يذوب في الماء ونظرا لأن حبيباته صغيرة جدا ولا ترسب بسهولة وفي البداية يكون لها استعداد جيد للمرور من المرشح. ولكن بعد وقت قصير بعد عملية الكلورة فان حبيبات الرمل في المرشح تصبح سوداء إذا كان الموجود فقط هو المنجنيز ولونه بني قاتم (ما هو جاني) في حالة وجود الحديد كذلك. وهذا يرجع إلى وجود طبقة ثاني أكسيد المنجنيز فقط أو معها أكاسيد الحديديك أو أيدر وكسيد الحد يديك. وعند تغطية حبيبات المرشح كما سبق ذكره فإن المرشح لا يمرر المنجنيز مطلقا وذلك بالإدمصاص والأكسدة. وهذه الرواسب على حبيبات الرمل ضرورية لمنع مرور المنجنيز ولا يتم إزالتها مطلقا.

ب- استخدام برمنجنات البوتاسيوم :

برمنجنات البوتاسيوم لها استخدامان أحدهما كمؤكسد لإزالة الحديد والمنجنيز والأخر كمؤكسد مع مرشح الزيوليت – المنجنيز. مع إضافة البرمنجنات ومادة الترويب في حوض الخلط السريع عند رقم هيدروجيني عادي يعطي نتائج طيبة وذلك لسرعة تفاعل البرمنجنات مع المنجنيز عند رقم هيدروجيني ٦ فأكثر. ويمكن إضافة الكلور أولاً لأكسدة الحديد وكذلك لتوفير جزء من الكلور المطلوب ثم تستكمل الأكسدة بعد ذلك باستخدام البرمنجنات ويعتبر إضافة البرمنجنات بأهمية خاصة عند إزالة المنجنيز، حيث يلزم أن يتطابق العمل فى وحدة المعالجة مع التجارب المعملية لتعيين الجرعة المطلوبة. فمثلاً فى وحدة معالجة كان النظام أولا كلور مع زمن مكث ٥-١٠ دقيقة ثم شبة ثم جير، برمنجفات. وتختلف عملية المنجنيز – الزيوليت عن عملية تبادل أيون الصوديوم فى أنه بالتحديد إزالة للحديد والمنجنيز وليست عملية تحلية المياه. ويتم تنشيطها بإستخدام محلول برمنجنات البوتاسيوم بدلاً من الملح العادى. ويجهز زيوليت المنجنيز من الرمل الأخضر (Green Sand) معد بالمعالجة المتبادلة بمركبات المنجنيز الثنائية وبرمنجات البوتاسيوم منتجة أكاسيد عالية من المنجنيز داخل وخارج الرمل الأخضر. ونظراً لأن عملية التنشيط تتطلب وقت نظراً للإنسداد المستمر فى المسام فقد إستبدلت هذه العملية بنظام التغذية المستمر بالبرمنجنات لإستمرار التنشيط للرمل الأخضر، حيث تم وضع طبقة من الفحم النباتى فوق طبقة الرمل الأخضر لإحتواء الرواسب من أكاسيد الحديد والمنجنيز وبذلك تعمل كلا من طبقة الرمل وطبقة الفحم النباتى كمرشح. وعند تراكم رواسب الحديد والمنجنيز يتم الغسيل العكسى للمرشح طبقاً لما هو متبع فى أى مرشح بالإضافة إلى مهمتها الأساسية كطبقة ترشيح فإن المنجنيز – زيوليت يعمل حقيقة كعامل درئى (Buffer) – حيث يتأكسد أى منجنيز ثنائى متبقى أو حديدوز إذا كانت جرعة البرمنجفات ضعيفة إلى حد ما. أما فى حالة زيادة الجرعة فإن البرمنجنات تعمل كمنشط لطبقة المزشح من المنجنيز – الزيوليت. مع إستخدام مرشح المنجنيز – الزيوليت يفضل رفع الرقم الهيدروجينى للمياه الجوفية إلى القلوية ما بين ٧,٥ إلى ٨ حيث عندئذ يتأكسد ليس فقط الحديدوز

ولكن المنجنيز الثنائى فى الحال. ويستخدم المرشح من الزيوليت- المنجنيز علـــى نطاق واسع فى مجال ٠,٥ إلى ٥ مليجرام / لتر من الحديدوز المنجنـــيز الثنــائى، وتوجد استخدامات خاصة لتركيزات أكبر. وقد نجحت عملية أكسدة المنجنيز المتحد مع المواد العضوية بإستخدام البرمنجفات.

جـ- الأوزون :

إستخدم للتطهير للمياه وأصبح منافس للكلور إلا أنه لا يحقـــق وجـــود أوزون متبقى شأن الكلور، نظراً لأنه يتحلل بوجود عامل وسيط مثل الحديد. ويعتبر مــــن المؤكسدات البديلة للحديد والمنجنيز عند رقم هيدروجيني عـــادي ومتعـــادل. كمـــا يصبح مؤثر في حالة وجود مواد عضوية مثـــل أحمـــاض الـــهيوميك والفولفيـــك (Humic . Volvic . Acids) – عند زيادة جرعة الأوزون يعطي لون غـــامق كمـــا يحدث في حالة زيادة جرعة البرمنجنات.

د – ثاني أكسيد الكلور CLO2 :

يتميز ثاني أكسيد الكلور في أنه لا يكون ألترايهالومثيان بالإضافة إلى قدرتـــه علي أكسدة الحديد المتحد مع المركبات العضوية وكذا أكسدة المنجنيز.

٥- تصميم وحدة إزالة الحديد والمنجنيز :

سوف يتم توضيح سبعة طرق لهذا الغرض وهي:

أ – التهوية والترشيح باستخدام الهواء المضغوط.

ب- التهوية والمكث والترشيح باستخدام الهواء المسحوب.

جـ-التهوية والمكث (الانتظار)؛ الترشيح باستخدام التهوية بالصوانى المتعاقبة.

د- الزيوليت لإزالة العسر مع الزيوليت المنجنيز على جزء من ممر جانبى.

هـ- مرشح الزيوليت- المنجنيز.

و- التهوية والترسيب والترشيح.

ز- الكلورة والترشيح.

من العوامل لرئيسة لإنجاح عملية إزالة الحديد والمنجنيز هو الترشيح المؤثر. حيث أن الوسط الترشيحى يلزم حسن اختياره. عادة القطر المؤثر يكون أكبر من ١،٥ مم. لا يستخدم الرمل الأخضر إلا فى التدفقات الصغيرة. يمكن تكوين طبقة ثانى أكسيد المنجنيز على الوسط الترشيحى بالتغذية المستمرة الأولية بالصودا الكاوية حيث تتكون طبقة غطاء ثانى أكسيد المنجنيز فى خلال عدة أشهر قليلة ثم يتوقف بعد ذلك التغذية بالصودا الكاوية.

أ- التهوية والترشيح باستخدام الهواء المضغوط لإزالة الحديد من مياه الآبار:

مع التشغيل وضخ المياه من البئر تمر المياه على فتحة فى الخط الرئيسى مع تثبيت جزء من المياه يمر خلال خزان للتشبع بالهواء. ينظم تدفق الهواء من خزان التشبع بالهواء بواسطة جهاز ضبط المنسوب مع التشغيل لضاغط الهواء. تندمج تدفقات الماء الهواء بعد الفتحة حتى المرشح بالضغط.

فى هذا النظام يتم تشبع جزئى للمياه بالأكسجين (الهواء) كما فى الشكل (١١٧).

ب-التهوية بالتلامس (Detention) الترشيح باستخدام الهواية ذات الضغط (الهواء المسحوب) :

يتم توجيه مياه الآبار إلى جهاز التهوية حيث يقوم الهواء (الأكسبجين) بأكسدة الحديد والمنجنيز إلى التكافؤ الأعلى. ويتم تغذية جهاز التهوية أما من المضخة الجوفية مباشرة أو من حوض المكث (Detention Basin). وعند مرور الهواء فوق المياه فى جهاز التهوية فانه يزيل كذلك جزء من ثانى أكسيد الكربون ولذا يرتفع الرقم الهيدروجينى للماء بأسرع من أكسدة وترسيب الحديد والمنجنيز فى شكل الأيدروكسيدات. ورغم ان التهوية بسحب الهواء (Forced draft Aerator) مع حوض المكث قبل الترشيح يستخدم فى ازالة الحديد والمنجنيز إلا أن استخدامها الرئيسى كان للمياه المحتوية على ٥-١٠ ملىجرام / لتر شكل رقم (١١٨) حوض المكث مطلوب لتوفير الزمن اللازم للتفاعل نظرا لأن التفاعلات لا تتم في الحال.

كما يجب أن تعرف أن الرقم الهيدروجيني له تأثير علـــي زمـــن إتمـــام التفـــاعل. وتشترط مواصفات التصميم الحالية زمن تلامس (مكث) من ٢٠ إلى ٣٠ دقيقة فـــي حوض المكث. الحديد المؤكسد الغير قابل للذوبان في الماء هناك حـــدود لإمكـــان إزالته في المرشحات بما يتطلب توفير العوائق في حوض الترسيب لتحقيق زمـــن التلامس والتأخير المطلوب والترسيب.

في حالة التصميم لإزالة ٥ - ١٠ مليجرام / لتر حديد فـــان حـــوض المكـــث يستبدل بحـــوض الترسيب الذي تسبقه عملية الترويب والـــتزغيب فـــي حـــوض التفاعل. ولذا فكلما زاد زمن الترسيب في حوض الترسيب كلما اكتمـــل التفـــاعل وكلما ترسبت المواد الغير مذابة بما يقلل من الأحمال علي مرشح الضغط الذي يلي حوض الترسيب.

* في سحب الهواء في جهاز التهوية كما في الشكل السابق (١١٨) يدخل الـــهواء الي اسفل جهاز التهوية بواسطة جهاز ضغط الهواء، يتدفق الهواء إلـــى اعلـــي ملامسا سطح الماء المتدفق من اعلي علي الصواني المتعاقبة. الجـــهاز مقفـــل تماما ويعمل عند ضغط من ١ - ٣ بوصة ضغط هواء اســـتاتيكي (Static Air Pressure) الماء يتساقط من اعلي خلال موزع بحوائط مانعـــة حيـــث يســـمح للهواء بالخروج مع استمرار المحافظة علـــي الضغـــط (Baffled distribution System).

* والبديل لهذه الوحدة هو دفع الهواء لوحدة التهوية وفي هذه الحالـــة يتـــم وضـــع جهاز ضغط الهواء اعلي برج التهوية حيث يدفع الهواء إلى أعلا مـــن خـــلال مداخل مثقبة سفلية. جهاز التهوية بالضغط أو بالدفع له شكل مربع أو مســـتطيل مع وجود جانب يمكن سحبه او فكه في حالة الحاجة إلى عمـــل النظافـــة. فـــي الأصل كانت الصواني من الخشب الأحمـــر ولكنـــها الآن مـــن الألومنيـــوم أو البلاستيك. الجزء الخارجي يمكن تصنيعه من الخشـــب البحـــري أو الصلـــب المغطى أو الألومنيوم او من الفيبر جلاس المقوي. يعتبر التهويـــة بـــالضغط أو بالدفع اكثر كفاءة من الصواني المتعاقبة او وحدات صواني الكوك بالإضافة إلى ان وحدات التهوية بالهواء المضغوط او المسحوب تعمل بكفاءة اكثر من ٥٠ %

تدفق عن الصواني المتعاقبة أو بفحم الكوك. مما يترتب عليه إمكان صغر حجم الوحدات.

جـ- التهوية، التلامس (التأخير)، الترشيح باستخدام التهوية بالصوانى المتعاقبة:
Aeration, Detention, and Filteration using Multiple Tray Aerators

هذا النظام مثل النظام السابق عدا وحدة التهوية. وهو عادة ما يستخدم لإزالة الحديد والمنجنيز عندما تكون نسبتهم من ٥ الى ١٠ ملليجرام / لتر. التهوية بوحدة الصوانى وفحم الكوك كما فى الشكل (١١٩) ما زالت تستخدم حتى الآن. حيث تدفق المياه إلى اسفل خلال صوانى التوزيع والتى تملا عادة إلى سمك ١٠ الى ١٥ سم بقطع من فحم الكوك بسمك ٥ الى ١٠ سم أو بسبخ الحديد بدلا من الكوك – الثقوب فى قاع صوانى الكوك تسمح للمياه بالتدفق الى اسفل حوض التجميع اسفل وحدة التهوية. وحدة التهوية إما مربعة أو مستديرة وتتكون من ٣-٥ صوانى. الهواء المار فوق الصوانى ملاصقا لسطح الماء الرقيق فوق فحم الكوك يؤكسد الحديدوز والمنجنيز الثنائى. وبعد فترة تشغيل تتكون طبقة على سطح فحم الكوك والتى تساعد فى عملية الأكسدة. ولذا فان نواتج الأكسدة يمكن ان تحدث انسداد فى التصرف للمياه مما يتطلب تنظيفها أو استبدال الكوك كما فى الشكل رقم (١١٩).

د – إزالة العسر بالزيوليت باستخدام المنجنيز – الزيوليت
Zeolite Softener with Manganese Zeolite On By Pass portion

هذا النظام يحقق إزالة العسر الي الحد المقرر سبقا. ولكن بإزالة عسر الحديد والمنجنيز. حيث يتم التحكم في تدفقات المياه من البئر الي جهاز الزيوليت لإزالة العسر علي أساس نسبة إزالة العسر المطلوبة. نظرا لأن جهاز إزالة عسر الزيوليت يزيل كاتأيونات العسر ومنها كاتأيونات الحديد والمنجنيز مما يتطلب عدم تعرض المياه للمؤكسدات أو الهواء الجوى أو كيماويات المعالجة قبل دخولها الى جهاز إزالة العسر حتى لا يحدث انسداد بواسطة نواتج الأكسدة. والجزء الآخر من المياه الخارجة من البئر يتم توجيهها مع تدفقات الكيماويات من البرمنجنات والقلوى الى وحدة المعالجة لإزالة الحديد والمنجنيز بما يحدث تأثير قليل على

كاتأيونات العسر. يتم خلط المياه الخارجة من وحدة إزالة العسر مع المياه المعالجة في وحدة إزالة الحديد والمنجنيز باستخدام زيوليت المنجنيز في الترشيح. عندئذ تكون المياه بالعسر المطلوب مع خلوها تماما من الحديد و المنجنيز. شكل (١٢٠).

هـ- نظام الترشيح باستخدام زيوليت المنجنيز :

يتم التغذية ببرمنجنات البوتاسيوم وقلوي (عند الحاجة لرفع الرقم الهيدروجيني) علي أساس المتوسط من مطالب البرمنجنات. نظام التغذية بالكيماويات متصل بنظام تحكم تشغيل البئر. تتم الأكسدة للحديد والمنجنيز في الخط في طريقها إلى المرشحات. نقطة التغذية بالكيماويات تكون قريبة ما أمكن من البئر لتوفير الزمن اللازم للتفاعل شكل (١٢١). ترسب نواتج الأكسدة علي سطح طبقة الترشيح من الفحم النباتي ذات الحجم الكبير حيث بذلك تحتجز هذه الرواسب. ونظرا لأن البرمنجنات تغذي طبقا لمتوسط المطلوب فان الزائد منها يتم امتصاصه بواسطة زيوليت المنجنيز. زيوليت المنجنيز عبارة عن مادة في شكل حبيبات سوداء ذات قطر منخل ١٦ – ٥٠ (16 – 50 Mesh) والوزن ٩٨ رطل / القدم المكعب. كل قدم مكعب له طاقة ٠,٠٩ رطل من الحديد والمنجنيز. ظروف التشغيل توفر تدفق المرشح من ٣ إلى ٥ جالون في الدقيقة / القدم المربع مع معدل غسيل عكسي من ٨ – ١٠ جالون في الدقيقة / القدم المربع. عادة يكون الهواء مطلوب للغسيل عندما يزيد تركيز الحديد الداخل عن ٣ – ٥ مليجرام / لتر. معدلات التدفق الأعلى للوحدات المزدوجة، وذلك عندما تكون أحد الوحدات في الغسيل العكسي أو التنشيط في التشغيل تكون المياه المنتجة للرشح الذي تم ضبط أداءه لا يكون لها لون يظهر عدم التفاعل للبرمنجفات.

كما يوفر النظام ميزة نظام التشبع بالهواء المضغوط بمضخة واحدة. بالإضافة وطبقا لتركيز الحديد الموجود يمكن ان تعمل الوحدات بمعدل حتى ٥ جالون / الدقيقة للقدم المربع. ونظرا لأن معدل الغسيل العكسي المطلوب هي ٨٠% بالنسبة للمرشح الرملي، لذلك فان مياه الغسيل العكسي تكون اقل. عادة فان رمل الزيوليت الأخضر يتم إنتاجه من المحاجر ثم تنظيفه وتدرجه، ثم تنشيطه باستخدام

كلوريد المنجنيز (Manganous Chloride) لتحويلها الي زيوليت المنجنيز. كما هو موضح بالشكل رقم (١٢١).

و- التهوية / الترسيب / الترشيح : شكل رقم (١٢٢) Aeration ,Settling,And Filteration

عندما تكون كميات الحديد أو المنجنيز أو كليهما مرتفعة (١٠ ملليجرام / لتر أو أكثر) يتم إزالتها بنظام التهوية ثم الترشيح . فى هذا النظام تمر المياه المتدفقة من البئر خلال جهاز التهوية. التهوية بفحم الكوك مبين فى الشكل التالى (١٢٢) حيث استخدام صوانى فحم الكوك أو الصوانى المتعاقبة محدود للمياه المحتوية على اقل من ٣٠-٤٠ ملليجرام / لتر من ثانى أكسيد الكربون. أما التهوية بسحب أو ضغط الهواء وأن كانت اقل من التهوية بصوانى فحم الكوك أو الصوانى المتعاقبة إلا أنها اكثر كفاءة في عملية الأكسدة وإزالة ثانى أكسيد الكربون بما يعمل على رفع الرقم الهيدروجينى وبالتالى يزيد من تكون وترسيب هيدروكسيدات الحديد والمنجنيز.

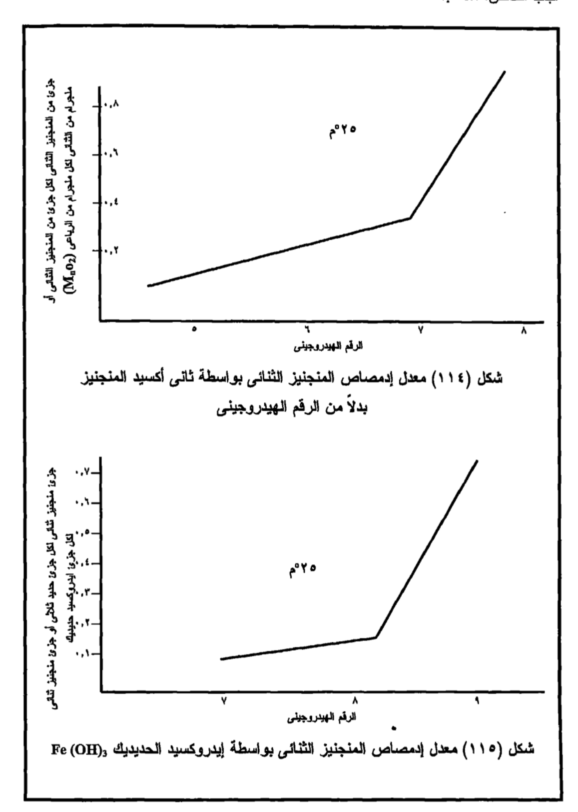
يتم توجيه المياه من وحدة التهوية إلى وحدة الترويق الذى يعمل بطريقة امتصاص المواد الصلبة (Solids Contact Clarifier) حيث زمن المكث فى وسط غرفة التفاعل (الترويب - الترغيب) لا يقل عن عشرين دقيقة. تزداد القلوية للمياه ليس فقط فى جهاز التهوية ولكن بإضافة قلوى ويفضل ان يكون الجير المطفى أو لين الجير (Lime). معدل الصعود المؤثر للمياه هو ٣ لتر / ق/ ٠,١ متر مربع من المساحة المؤثرة والذى يمثل زمن مكث يعادل ٢ ساعة. بعض المصممين يحدد معدل الارتفاع فى منطقة فصل الراسب بما لا يزيد عن ٣,٢ لتر / ق / ١,. متر مربع. والعمق الجانبى للمياه من ٣-٤ متر وأقصاه هو ٥ متر، كما يتم توفير مساحة اكبر لصعود المياه فى المروب بما يوفر طبقة متسعة من الراسب. نظرا لان كل المياه تمر من خلال هذه الطبقة للراسب فانه تتحقق الاستفادة من الكيماويات وكذلك الاستفادة بالعامل المساعد من الرواسب المتكونة. ثم تسحب المياه من مأخذ علوى. مع تراكم الراسب يصبح اكثر كثافة ويرسب الى قمع تجميع الرواسب. تدفع المياه من حوض تجميع المياه فى المروق بفرق المنسوب او

بواسطة مضخة. ثم تضخ المياه إلى مرشح الضغط أو مرشح الجاذبية كما في الشكل (١٢٢). تضخ المياه المتجمعة اسفل المرشح إلى الخدمة.

يتم التحكم فى سحب الراسب من خلال مخرج للسحب بواسطة محبس يعمل بالتحكم الموقوت. وعند تكون كميات كبيرة من الراسب فان نظام سحب الراسب يعطى دفعة مياه مرشحة إلى حوض غسيل المياه بعد كل استخدام بدون حدوث أى تدخلات أو إعاقة.

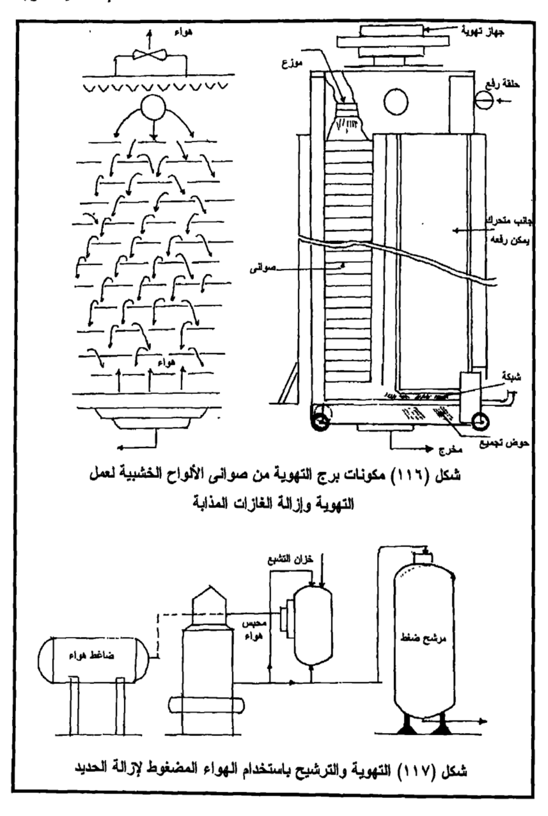
ز- الكلورة والترشيح : Chlorination And Filteration

توجد طرق أخرى بديلة لما سبق ذكره. من هذه الطرق المستخدمة عادة هي الكلورة ثم الترشيح في مرشح ذو وسط ترشيحى واحد. يتم ضبط الرقم الهيدروجيني لتحقيق أقصى أكسدة وترسيب بإضافة لبن الجير مع زمن مكث ١٠ – ٣٠ دقيقة. الوسط الترشيحي المناسب هو الفحم النباتي شكل (١٢٣).



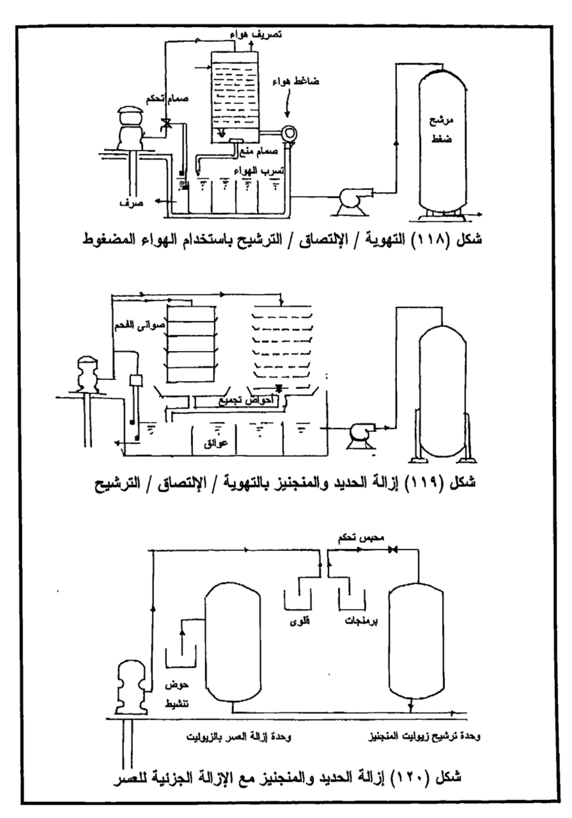
شكل (١١٤) معدل إدمصاص المنجنيز الثنائى بواسطة ثانى أكسيد المنجنيز بدلاً من الرقم الهيدروجينى

شكل (١١٥) معدل إدمصاص المنجنيز الثنائى بواسطة إيدروكسيد الحديديك $Fe(OH)_3$



شكل (١١٦) مكونات برج التهوية من صوانى الألواح الخشبية لعمل التهوية وإزالة الغازات المذابة

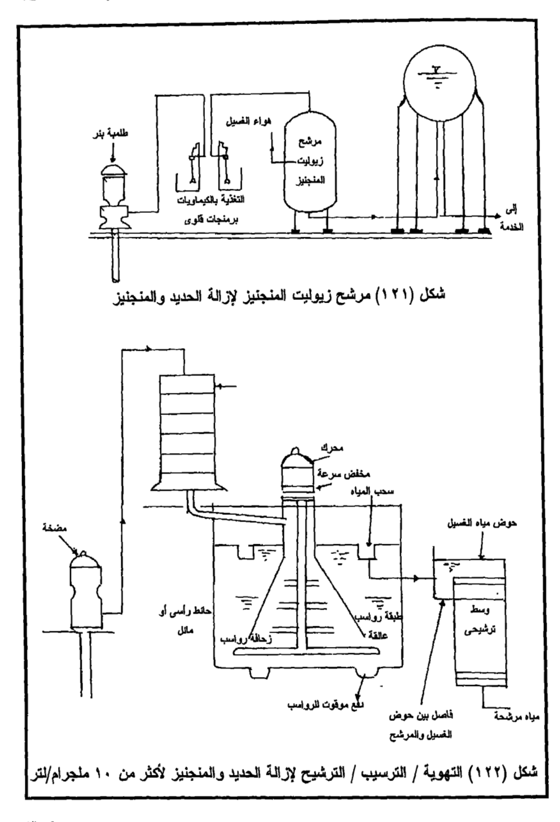
شكل (١١٧) التهوية والترشيح باستخدام الهواء المضغوط لإزالة الحديد



شكل (١١٨) التهوية / الإلتصاق / الترشيح باستخدام الهواء المضغوط

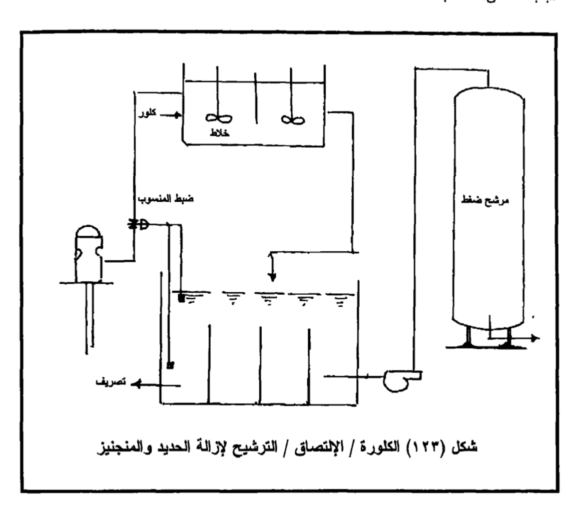
شكل (١١٩) إزالة الحديد والمنجنيز بالتهوية / الإلتصاق / الترشيح

شكل (١٢٠) إزالة الحديد والمنجنيز مع الإزالة الجزئية للعسر



شكل (١٢١) مرشح زيوليت المنجنيز لإزالة الحديد والمنجنيز

شكل (١٢٢) التهوية / الترسيب / الترشيح لإزالة الحديد والمنجنيز لأكثر من ١٠ ملجرام/لتر



شكل (١٢٣) الكلورة / الإلتصاق / الترشيح لإزالة الحديد والمنجنيز

القسم الخامس

التخلص من المواد المشعة والكيماوية ذات التركيز المنخفض جدا

١- إزالة الملوثات من المواد المشعة : Removal Of Radioactive Contaminants

يعتبر الراديوم المستحضر المشع السائد فى بعض مصادر المياه الجوفية حيث التربة الحاملة للخزان الجوفى تكون محتوية على هذا العنصر. كما ان مصادر التلوث بالمواد المشعة من صنع الانسان مثل التريليوم والاسترنشيوم ٩٠ والتى تلوث المجارى السطحية فى حالة الصرف العشوائى الغير معالج. وبترز خطورة هذه الملوثات على الصحة العامة فى حالة زيادة تركيزها عن٥ كورى (5PCi). توجد ثلاث طرق لإزالة المواد المشعة من مصادر المياه السطحية أو الجوفية وهى.

- إزالة العسر بالجير أو بالجير الصودا (Lime Or Lime Soda).
- إزالة العسر بالتبادل الأيونى.
- التناضح العكسى Reverse osmosis.

يمكن بهذه الطرق إزالة المواد المشعة من المجارى السطحية بنسبة ٩٠% كما إن المعالجة لأي من هذه الملوثات (من المصادر السطحية أو الجوفية) بطريقة

إزالة العسر بالجير يمكن أن يزيل حتى ٩٠% من الراديوم فى الماء إذ كان تركيزه حتى ٢٥ كورى (25pci) عندما يكون الرقم الهيدروجيني اكبر من ١٠ أما التبـــادل الايونى فيمكن ان يزيل حتى ٩٥%، التناضج العكسى يزيل ٩٥%، من الراديـــــوم جنبا إلى جنب مع إزالة النسبة العالية من الملاح الكلية المذابة.

يتم التخلص من مياه الصرف بأى من تقنيات المعالجة ليس فقط يسبب المـــواد المشعة ولكن بسبب المحتوى العالى من الأملاح. عندئذ يمكن التخلــص باســتخدام آبار الحقن الجوفى (Ingection Wells) بحيرات البخر (Evaporation Lagoons) أو باستخدام نظام باستخلاص هذه المواد.

٣- تقنيات المعالجة لخفض تركيز الملوثات لبعض الكيماويات فى المياه :

الجدول (١٨) يبين تقنيات المعالجة للتلوث المفاجئ للمياة عند عـــدم وجــود بديل للاستخدام.

الجدول (١٩) بين عدد المعالجات الست لمعالجة الملوثـــات مــن المصـــادر الجوفية أو السطحية وهى الكلورة، إزالة العسر بالتبادل الايونى، الترشيح، التناضج العكسى، التقطير، الأشعة فوق البنفسجية.

جدول (١٨) لإزالة وخفض الملوثات المؤثر من مياه الشرب

المشكلة العامة من الكيماويات	المعالجة
١	٢
مركبات الزرنيخ بتركز حتى ١٠٠ملجرام/لتر	الترسيب بكبريتات الحديديك مع رفع الرقم الهيدروجيني بالجد إلى ٦,٨ ثم الترسيب والترشيح.
مركبات السيابند؛ الاسيتون سيانوهيدروين كلوريد السيانوجين	الكلورة مسبقة لتوفير الكلور الحر عند رقم هيدروجيني ٧ ثم الترويب والترسيب والترشيح يلزم مراعاة التهوية. مع ملاحظة أن الترسيب باستخدام أملاح الحديديك أو الحديدوز لتكوين أزرق بروسيا (Brussian Blue) وهو (Iron ferric cyanide) ثم الترويب والترسيب والترويق. طالما أن هناك زيادة فى إضافة الحديد فإن المياه المرشحة لا تكون سامة حتى ولو كان لونها أزرق.
مواد الأعصاب (مركبات الفسفور العضوية)	الكلورة العالية عند رقم هيدروجيني ٧ لتوفير ما لا يقل عن ٤٠ ملجرام/لتر كلور متبقى مع زمن مكث والتصاق ٣٠ ق تم إزالة الكلور ثم الترويق العادى
مركبات عضوية أخرى LSD (Lysergic Acid Derivatives)	الكلورة الذائدة عن رقم هيدروجيني ٧ قلوى بإضافة الجير أو الصودا أش لتوفيز كلور حر. يلزم ٢جزء من الكلور للتفاعل مع ١ جزء LSD
مبيدات الحشرات :Pesticides ٢، ٤– دا يكلورو فينول	الإدمصاص على الفحم المنشط ثم الترويب والترسيب والترشيح
DDT يتركز ١٠ جرام/لتر	الترويب والترسيب والترشيح
الدابأ لدرين ١٠ جرام/لتر	الترويب والترسيب والترشيح قد يكون من الضرورى
الاندرين ١٠ جرام/لتر	عمل معالجة إضافية بالفحم المنشط مثل الدابأ لدرين
اللندين ١٠ جرام/لتر	استخدم الفحم المنشط ثم التذويب والترسيب والترشيح
بارايثون١٠ جرام/لتر	قد يكون من الضرورى الإدمصاص على الفحم المنشط . لا تستخدم الكلورة المسبقة نظرا لتفاعل الكلور مع البارايثون ليكون البار أكسون والذى هو اشد سمية من البارايثون

جدول (١٩) المعالجات لإزالة الملوثات من المواد الصلبة المذابة

المشكلة العامة للمياه	الملوثات من المواد الصلبة المذابة	تبادل كتأيوني	الكلورة	الترشيح	الترشيح بالفحم	تناضح عكسى	الغليان والتبخر	الاشعة البنفسجية
جسيمات عالية	رمل			×			×	
جسيمات عالقة	طفلة			×			×	
	جسيمات صدأ			×			×	
مواد غير	زرنيخ	×				×	×	
عضوية	الباريوم	×				×	×	
	كادميوم	×				×	×	
	كالسيوم	×				×	×	
	كروم	×				×	×	
	نحاس	×				×	×	
	حديد	×				×	×	
	رصاص	×				×	×	
	مغنيسيوم	–						
	منجنيز	×						
	زئبق	×				×	×	
	راديوم٢٢٦؛٢٢٨					×	×	
	سيلنيوم					×	×	
	فضة					×	×	
	صوديوم					×	×	
	إسترنشيوم ٩٠					×	×	
	زنك	×				×	×	
	كلوريدات					×	×	
	الكلور				×		×	
	فلوريدات						×	
	نترات						×	
	كبريتات					×	×	
	كبريتيد					×	×	
	بنزين				×	×	×	
	الترايهالوميثان				×	×	×	
	مذيبات بترولية				×	×	×	
	مبيدات حشرية				×	×	×	
	تاينن(مواد هيوميك)					×	×	
	رائحة					×	×	
	مذاق					×	×	
	طحالب					×	×	
	بكتريا		×			×	×	×
	فيروسات		×			×	×	×
بيولوجي							×	×

٣- إزالة الملوثات من المواد الغير عضوية :-

يمكن أن توجد الملوثات من المواد الغير عضوية في مصادر المياه في الشكل الكاتأيوني أو الآن أيوني وفي حالات مختلفة من الأكسدة الكيماوية (التكافؤ) أو في شكل مركبات مركبة تكونت مع مركبات عضوية.

تعتبر حالة التكافؤ والحالة الأيونية للملوثات الغير عضوية مهمة حيث أنها عادة تؤثر على الإذابة وكذلك المعالجة بطرق المعالجة المختلفة. كثير من المعادن الثقيلة التي توجد كإيدروكسيد أو كربونات معقدة (كاتأيوثات) تكون قابليتها للذوبان قليلة وبذلك تزال بسرعة بالمعالجة التقليدية. أما الشكل الان أيوني مثل الزرنيخ والسلينيوم يصعب معالجتها ويتوقف إزالتها على حالة التكافؤ التي بها الآن أيون. الجدول (٢٠) يوضح معظم الأشكال الأيونية التكافؤ المصادر الرئيسية أحتمالات حدوث الملوثات الغير عضوية.

جدول (٢٠) الأشكال الرئيسية ومصادر الملوثات الغير عضوية

الملوثات	التكافؤ	الشكل الرئيسي في الماء	المصادر	احتمالات الوجود
الزرنيخ	زرنيخ ثلاثى 3	آن أيون AsO_2	التربة	مياه جوفية
	زرنيخ خماسى 5	آن أيون AsO_4	الصناعة	مياه سطحيه
الباريوم	ثنائي	كاتأيون Ba^{++}	التربة	مياه جوفيه
الكادميوم	ثنائي	كاتأيون Cd^{++}	ناتج التآكل	شبكه التوزيع
			الصناعة	مياه سطحيه
النحاس	ثنائي	كاتأيون Cu^{++}	نواتج التآكل	شبكه التوزيع
			الصناعة	المياه السطحية
الفلوريد	أحادي	آن أيون F^-	المناجم	المياه الجوفيه شبكه التوزيع
الرصاص	ثلاثي	كاتأيون Pb^{+++}	التآكل	المياه السطحية
			الصناعة	المياه السطحية
الزئبق	ثنائى (عضوي	كاتأيون Hg^{++}	الصناعة	
	وغير عضوي)	كاتأيون CH_3Hg^+		مياه جوفيه
النترات	أحادي	آن أيون NO_3	الزراعة	مياه جوفيه
الراديوم٢٢٦	ثنائي	كاتأيون Ra^{++}	مناجم	
السيلينيوم	رباعي	آن أيون SeO_3		
	سداسي	آن أيون SeO_4	الصناعة	المياه السطحية
الفضة	أحادي	كتأيون Ag^+	معالجة المياه	المياه المعالجة بالبكتيريا لإزالة الفضة
			نواتج التآكل	
الزنك	ثنائي	كاتأيون Zn^{++}		شبكة التوزيع

مبادئ التصميم لعمليات المعالجة للمواد الغير عضوية :

عدا عمليات التقطير والتحلية المستخدمة في معالجة مياه الشرب في الدول الغنية، فإنه لا توجد عمليه معالجة منفردة ومؤثرة في إزالة كل الملوثات من المواد الغير عضوية. ولكن لحسن الحظ كثير من هذه الملوثات يمكن إزالته في عمليات ترويب المياه أو في عمليات إزاله العسر والتي يتوقف قدرتها في الإزالة على الرقم الهيدروجيني، المروب المستخدم، جرعة المروب، التركيز الأولي للملوث، وشكل وحالة التكافؤ للملوث. من أهم هذه المتغيرات الرقم الهيدروجيني للمياه المعالجة.

التبادل الأيوني يمكن أن يكون مؤثرا في حالة عدم إمكان إزالة الملوث بطريقة الترويب التقليدية أو بإزالة العسر بواسطة الجير. عمليات الأغشبة مثل التناضح العكسي والأليكتروديالسيس رغم ارتفاع تكلفتها إلا إنها مؤثرة في إزالة الملوثات من المواد الغير عضوية. إزالة الملوثات الغير عضوية من مصادر المياه لأغراض الشرب يمكن أن تختلف كثيرا من مصدر إلى مصدر أخر. أي عمليه معالجة يجب أن تختبر معمليا أو على المستوى النصف صناعي (Pilot-Scale)، على استخدام المياه الحقيقية المطلوب معالجتها وذلك قبل البدء في التصميم الفعلي لعملية المعالجة. الجدول (٢١) يوضح العمليات القابلة للتنفيذ والملوثات القابلة لأزاله بهذه العمليات.

جدول (٢١) التقنيات القابلة للتطبيق في إزالة الملوثات الغير عضويه

الترويب باستخدام أملاح الحديد أو الألمنيوم	ازالة العسر بالجير – الصودا	التبادل الأيونى	منع التأكل	التناضح العكسى	الفحم المنشط
الزرنيخ، الكادميوم (أملاح الحديد)، الكروم الثلاثى، الكروم السداسى، (أملاح الحديد)، الزئبق (غير عضوى)، السيلينيوم، الفضة.	الزرنيخ، الباريوم، الكادميوم، الرصاص، الراديوم، الفضة.	الباريوم، الكادميوم، الفلور، النترات، السيلينيوم الرباعى.	مؤثر فى ازالة النحاس الرصاص الزنك الكادميوم.	يزيل كل المكونات الغير عضويه بما فيها المشعة.	يزيل الزئبق المكون لمركب مع مواد عضوية.

المعالجة التقليدية :

يمكن تعريف المعالجة التقليدية بأنها الترويب الكيماوي باستخدام أملاح الألومنيوم أو الحديد وكذلك إزالة العسر بالجير أو الجير - الصودا. وتشمل عملية المعالجة التقليدية الخلط، الترويب، الترسيب، الترشيح وسبق شرح مراحلها.

إزالة الملوثات الغير عضوية في المعالجة التقليدية يمكن أن تكون إما يترسب المواد الغير مذابة من الأيدروكسيدات أو الكربونات لهذه المعادن أو بالترسيب مع أيدروكسيد الحديد أو الألومنيوم أو بالادمصاص مع العكارة الطبيعية أو على جسيمات الزغبات المتكونة نتيجة تميؤ أملاح الترويب مع الماء. ترسيب الكادميوم والرصاص والفضة يحدث بسرعة أثناء المعالجة التقليدية في حالة التحكم في الرقم الهيدروجيني.

الترسيب للملوثات العضوية التى تكون مركبات معقدة لا تذوب ترسب مع المرويات، الحديد والألومنيوم (Coprecipitation). أملاح الحديد عموما أكثر تأثيرا في إزالة الملوثات الغير عضوية في المحلول والرقم الهيدروجيني هام عند تقرير الإزالة بالترسيب بالالتصاق مع المواد المروبة.

فمثلا الزرنيخ يمكن إزالته عند التكافؤ الخماسي ولكن تقل إزالته كثيرا عند التكافؤ الثلاثي.

المعادن مثل الرصاص، الفضة، الزئبق تمتص بسهولة على العكارة للمياه العكرة أو على الزغبات لمواد الترويب. ازالة هذه المعادن تتوقف على العكاره فى المياه العكرة، وطبيعة الزغبات المتكونة فى عملية الترويب، الإزالة الكلية للعكاره.

٤- إزالة الملوثات من بقايا المواد العضويه :Trace Organics

مشاكل القابلية الخاصة بالمذاق والرائحة واللون معروف إنها نتيجة تأثير المواد العضوية الموجودة طبيعيا بكميات صغيرة جدا وبتركيزات ضعيفة في مياه الشرب. بالأضافه إلى أن الكيماويات المخلقة من صنع الإنسان من المواد العضوية

في زيادة سريعه. ولتوفير مياه شرب مقبولة وخاليه من السمية زاد الاهتمام بازالـه هذه الملوثات.

المواد العضوية هي كيماويات تحتوي على عنصر الكربون تنقسم إلى خمسه أقسام من وجه نظر معالجة المياه وهى:

- مواد عضويه مسببه للرائحة مثل مادة جيوسين (Geosmin).
- مواد عضويه مخلقه مثل المبيدات والمخصبات.
- مواد عضويه تتفاعل مع الكلور مكونه الترايهالوميثان.
- مواد عضويه تتفاعل مع الكلور منتجه مواد عضويه مكلوره مثل الأسيتون.
- مواد عضويه طبيعية.

وجود الملوثات العضوية وقياساتها

المياه السطحية عموما هي الأكثر عرضه للتلوث بعديد من بقايا المواد العضوية اكثر من المياه الجوفية وإن كانت المياه الجوفية تتأثر بالمواد العضوية المخلقة المستخدمة في الزراعة كالمخصبات والمبيدات شأنها شأن المياه السطحية.

أ- إزالة الملوثات العضوية بالمعالجة للمياه :

(١) الترسيب والترشيح :

إضافة مواد الترويب لإزالة العكارة أو رفع الرقم الهيدروجيني لإزالة الكالسيوم والماغنسيوم في عمليات إزالة العسر تحقق إزالة لبعض المواد العضوية. ويمكن قياس ذلك بخفض التركيز للكربون العضوي بنسبة تصل إلى ٥٠% في بعض أنواع المياه وكذلك يخفض اللون. وان كانت المروبات تأثيرها قليل في إزالة المركبات العضوية المكلورة. الترشيح مؤثر في إزالة اللون والعكارة ولكنه قليل التأثير في إزالة المركبات العضوية المكلورة.

(٢) التهويـة:

تم مناقشة التهوية لأكسدة الحديد والمنجنيز. ميزه التهوية في إزالة المواد العضوية هي أن المواد العضوية تزال من الماء بدون تكون منتجات جانبية. أما سلبيات التهوية فهو أن هذه الملوثات المزالة تلوث الهواء الجوي. توجد عوامل متعددة ذات تأثير على إزالة المركبات العضوية من الماء بالتهوية. بين هذه العوامل زمن الالتصاق (Contact Time) ونسبه الهواء إلى الماء ودرجة حرارة الماء وضغط البخار وإزابة الملوثات. العاملين الأخيرين يمكن الاستفادة بها في تقدير جدوى التهوية. ولتوضيح ذلك وطبقا لقاعدة هنرى (Henrey's law) التي تنص على إنه عند إزابة مركب في الماء فان الضغط الجزئي للمركب (Partial Pressure) يتغير طبقا لتركيز المركب في السائل كالمعادلة P=C

حيث p = الضغط الجزئي، c = التركيز في السائل

ولهذا P= HC حيث H معامل قاعدة هنري

إذن H = P/C

مقلوب معامل هنري 1/H يسمى معامل التجزئة. وهذا المعامل دليل لأدنى نسبه بين الهواء والماء لإزالة المركبات العضوية المتطايرة. تزاد كفاءة التهوية كلما زادت قيمة المعامل H وهذه تزداد كلما انخفض الوزن الجزئ للمركب العضوي وأفضل أبراج التهوية ذات التحشية الزلطية (Packed T ower).

(٣) الأدمصاص Adsorbtion :

الأدمصاص يتأثر بدرجة الحرارة والرقم الهيدروجيني للماء ويتوقف على خصائص وتركيز المادة العضوية وزمن الالتصاق وطريقة تنفيذ الإدمصاص. ومادة الإدمصاص سواء كانت بودرة الفحم المنشط أو حبيبات الفحم المنشط.

٥- حبيبات الفحم المنشط: (GAC).

يستخدم في هذه الحالة برج تهوية محتوى على عامود من حبيبات الفحم المنشط لانتاج مياه محتويه على تركيز ضعيف جدا من المواد العضوية. القطر المؤثر ومعامل التجانس لحبيبات الفحم المنشط المناسبة للاستخدام كوسط ترشيحي وكعامل أدمصاص موضح في الجدول (٢٢)

جدول (٢٢) خصائص حبيبات الفحم المنشط المستخدم كوسط ترشيحي لإزالة المواد العضوية

القطر المؤثر بالمليميتر	٦ر٠
معامل التجانس	=< ٩ر١
الكثافة (للخام)	٤٧ر٠
المساحة السطحية متر مربع/جرام	١٠٠٠-١١٠٠
الرقم اليودي	٩٥٠-١٠٥٠

ويعتبر هذا النظام بديل عن الرمال في العمل كمرشح. ولكن نظرا لأنه وسط ترشيحي واحد فإن حبيبات الفحم المنشط توفر ترشيح سطحي وليس ترشيح بالعمق ولذلك دورة المرشح تكون أكثر من دورة المرشح المحتوى على أكثر من وسط ترشيحي ولكنها تشابه المرشح الرملي. عامود الترشيح في برج التهوية يجب أن يوفر مسافة عليا خالية من حبيبات الفحم بطول ٣٠ إلى ٥٠ % لتلائم التمدد أثناء عملية الغسيل. الفحم المنشط عندما يبتل يصبح شديد العدوانية ولذلك تكون مواد الإنشاء متوفر لها الحماية الداخلية أو تكون من الصلب المقاوم أو الخرسانة المسلحة حيث أسياخ الصلب المغطاة بسمك لا يقل عن ٥ سم من الخرسانة. وكذلك تكون المواسير والوصلات والمحابس وأحواض التخزين وكاشطات الخبث السطحي كلها معرضة للتآكل بما يتطلب حمايتها. الغسيل لحبيبات الفحم المنشط ليس صعبا ولكن يحتاج إلى مراقبة مستمرة من العاملين، حيث الزيادة المفاجئة في الغسيل تسبب الفقد المباشر لخروج المياه والمادة من الأحواض، نظرا للتمدد بنسبة ٣٠ إلى ٥٠ % عند الغسيل بمعدل ٣٥-٩٠ متر مكعب على المتر المربع من سطح الحوض.

حبيبات الفحم المنشط المبللة لها كثافة اقل من كثافة الرمل (١،٤ جرام / سم^3 مقابل ٢،٦ جرام / سم^3)، لذلك تستخدم مياه الغسيل ببطيء حيث يكون معدل الزيادة بطئ حتى تمام تمدد طبقة الفحم المنشط، كما يلزم الحرص عمليا لمنع الارتفاع الكامل لطبقة الفحم المنشط ككتلة بما يتلف التجهيزات المثبتة داخل عامود الترشيح بما يمنع حدوث ذلك بالكشط السطحي والانتباه الكامل. عند الإنشاء لأول مرة يلزم الغسيل لعدة مرات حتى عشرة مرات حتى تكون مياه الغسيل خالية تماما من رماد الفحم المنشط. استخدام مرشح الغشاء (Membrane filter) يفيد فى إيقاف تسرب حبيبات الفحم المنشط مع مياه الغسيل. البعض يرى أن ترشيح مياه الصرف للغسيل لعدة دقائق بعد الغسيل يمنع تراكم رماد الفحم المنشط فى شبكة التوزيع ويقلل من مشاكل النمو البيولوجي. استخدام وحدات الادمصاص المنفصلة بعد الترشيح يوفر المرونة في تداول حبيبات الفحم المنشط والتغير فى ظروف الادمصاص مثلا، زمن الالتصاق، معدل التدفق العلوي مقابل التدفق لأسفل. وحدات الادمصاص تصمم عادة بنسبة العمق إلى القطر لمادة الادمصاص ١,٥ أو اكثر لتأكيد التوزيع الجيد للتدفق. يكون قاع التحمل من سطح مثقب أو من لوح من الصلب المقاوم ٣١٦، كما يمكن استخدام بلوكات السيراميك المثقب المغطاة بالزلط أو الرمل ولكن فى هذه الحالة يكون من الصعوبة فصل الوسط في حالة الحاجة إلى تنشيط الفحم المنشط من آن إلى آخر.

التنشيط : Reactivation

أثناء الاستخدام، يصبح السطح الكبير الداخلي لحبيبات الفحم المنشط مشبع بالمواد التي تم ادمصاصها. عندئذ تسمى حبيبات الفحم المنشط أنها إستنفذت طاقتها فى الادمصاص مما يتطلب إما استبدالها أو تنشيطها. أما التخلص من المادة بالدفن فى التربة فهو البديل الثالث ولكن من الناحية الاقتصادية يعتبر التنشيط هو الأفضل وذلك فى حالة استنقاذ قدرة الفحم المنشط على الادمصاص خلال ٦ إلى ١٢ شهر.

التنشيط: هو عملية إزالة المواد العضوية التي تم ادمصاصها واستعادة خاصية الأدمصاص للفحم المنشط ثانيا.

يمكن تنفيذ عملية التنشيط كيميائيا أو حرارية. التنشيط الكيمـــــاوي باســـتخدام مذيب يستخدم في بعض الصناعات ، ولكون استخدامه في مجــــال معالجـــة ميــاه الشرب محدود جدا. التنشيط الحراري يوفره موردو حبيبات الفحم المنشط أو يتـــم فى الموقع كالأتي :

- يتم الغسيل لحبيبات الفحم المشبع والتنظيف بالهواء.
- توضع حبيبات الفحم فى فرن وتعرض إلى جو من البخار والأكسجين يتـــم التحكم فيه وعند درجة حرارة حوالـــي ١٠٠٠ درجـــة مئويـــة. الغـــازات الخارجة يجب أن لا تسبب تلوث للهواء الجوى المحيط.
- يتم إطفاء حرارة الفحم المعاد تنشيطه بالماء ثـــم تقلـــه هيدروليكيـــا إلـــى الملامس (Contractor) أو إلى التخزين.
- يتم إضافة حبيبات فحم خام لتعويض الفقد.

تكوين مساحة النقل الهيدروليكي للفحم المنشط قصيرة ,ما أمكن مـــع تجنـــب الانحناءات كلما أمكن ذلك وتكون السرعة ما بين ١,٥ إلي ٣ مـــتر فـــي الثانيـــة ويستخدم للتخزين أحواض من الصلب المقاوم (درجة ٣١٦) وكذلـــك فـــي حالـــة الانحناءات. أما في حالة استقامة خط المواسير يمكن استخدام مواسير بي في ســـي أو أي نوع أخر بلاستيك. نظرا لاحتمال حدوث انسداد. زيادة نسبة الماء إلى الفحـم تخفض الفقد بالاحتكاك.

أنواع الأفران المستخدمة في التنشيط :

توجد أنواع كثيرة من الأفران المستخدمة لتنشيط وإعادة تنشيط حبيبات الفحـم المستنفذ طاقته منها الفرن متعدد الغرف الحرارية (Multiple hearth) وهو الأكـــثر استخداما. حيث يوجد من ٤ ــ ٨ غرفة حرارية، مع حدوث التجفيف فى الغرفـــة العليا. زراع التقليب تحرك حبيبات الفحم إلى الداخل والخارج فى الغرفـــة. يســـلط النجار عند قاع الفرن وتخرج الغازات خلال مرشح (Scrubber) أو إلـــى الحـــرق التالي بعد المرشح. كما توجد أنواع أخرى منها الفرن الدوار. كما يستخدم البخـــار فقط في إزالة المواد العضوية المكلورة من الفحم المنشط كما فى حالة الاســـتخدام

لانتاج المياه الغازية. يستخدم فى هذه الحالة البخار بمعدل ٢،٤م٣ / م٢ / الساعة. ويتم التكثيف للأبخرة الصاعدة. هذه العملية تستغرق من ١٨ إلى ٢٤ ساعة.

مراقبة كفاءة التنشيط أو إعادة التنشيط:

الرقم اليودي والكثافة الظاهرة : Iodine number and Density

الرقم اليودي هو كمية ٠,٢ يود عياري بالمليجرام التي يحدث لها امتصاص بجرام واحد من الفحم المنشط عند التعادل. وكنموذج فإن جبليات الفحم المنشط ذات المساحة السطحية ١٠٠٠متر مربع فى الجرام لها رقم يودي يقترب من ١٠٠٠ مليجرام / جرام من الفحم المنشط.

بودرة الفحم المنشط : Powdered Activated Carbon تصنع حبيبات الفحم المنشط من الفحم البيتوميني أو اللجنين أو الخشب أو من قشور جوز الهند ومن البترول ومن قشور ولحاء الأشجار وتبلغ حجم الحبيبات من ٥ إلى ١٠٠ميكرو متر وكثافتها ٠,٤٨ جرام / سم٣. بودرة الفحم المنشط مؤثرة جدا عند الحقن فى أماكن متعددة ما بين المأخذ والمرشحات. فى حالة استخدام الكلور لا يضاف الكلور وبودرة الفحم المنشط معا، نظر للاختزال السريع للكلور بواسطة بودرة الفحم المنشط بما يمنع من أداء وظيفته كمطهر. وهذا لا يقلل من تأثير المطهر فقط بل كذلك يؤكسد مادة الفحم. يمكن تعيين جرعة بودرة الفحم المنشط المطلوبة باختبار القيلنه (jar test) كما فى حالة تعيين جرعة المرب. ومن بين الملوثات العضوية التي يمكن أن تزال هو مركب التوكسافين والذي يتطلب جرعة ١٠ مليجرام / لتر. إضافة بودرة الفحم المنشط بالإضافة إلى ما يترتب عليه من تكاليف إضافية إلا أنها تشكل كذلك إضافة عند التخلص من الروبة (sludge).

الراتنجات المختلفة : Synthetic Resins:-

هناك أبحاث ودارسة على هذا النحو كاستخدام البلمرات من الأكليرك وأن كانت طاقتها فى امتصاص الكربون العضوي الكلى محدودة. ولم تستخدم هذه الراتنجات في مجال مياه الشرب حتى الآن.

طرق أخري لخفض وإزالة بقايا الملوثات العضوية :

فى هذه الطريقة يتم الاستخدام المزدوج للأوزون والفحم المنشط. فعند استخدام الأوزون مع الفحم المنشط أو استخدام الأوزون مع الترشيح ثم استخدام الفحم المنشط يمكن الحصول على مياه بمحتوى منخفض جداً من إجمالي الكربون العضوي وتكوينان الترايها لوميثان عن استخدام الأوزون فقط أو الفحم المنشط فقط. عند استخدام الأوزون بالجرعة المكافئة لا يحقق معالجة جيدة مشابهة. وذلك لأن الأوزون يعمل على تكسير المواد العضوية الغير قابلة للتحلل منتجا غذاء عضوى يساعد على تكاثر ونمو البكتريا والتى تنتشر فى الوسط الحبيبى بعد استخدام الاوزون. جرعة الأوزون ذات التأيثر وجد أنها تترواح مابين ٠,٥ إلى ٣ مليجرام / لتر لكل ملجرام / لتر من إجمالي الكربون العضوي (TOC). من الناحية الاقتصادية فإن استخدام الأوزون مع الفحم المنشط يكون أفضل وذلك عند إستنفاذ طاقة الفحم المنشط في ثلاثة أشهر أو أقل.

الغليان للماء : Boiling :-

فى حالة الطوارئ يمكن إزالة بعض من معظم المركبات العضوية المتطايرة من مياه الشرب بالغليان. يراعى عدم استنشاق البخار الصاعد من الغليان. والعمل على صرفه في الهواء. كما يلاحظ أن التبخير قد يعمل على تركيز بقايا الملوثات من المواد الغير عضوية المذابة بما يتطلب إن أمكن الغليان فى أوعية ضغط البخار. الجدول (٢٣) يوضح تأثر الغليان على بقايا المواد العضوية الموجودة في مياه الشرب :

جدول (٢٣)

زمن الغليان بالدقيقة	متوسط نسبة المتبقي			
	أ	ب	جـ	د
٣	٢	١٤	٧	–
٥	١ >	٧	٣	١ >
١٠	١ >	١	١ >	١ >

أ. تترا كلورو إثيلين

ب. ترا يكلورو إثيلين

ج. كلور وفورم

د. رابع كلوريد الكربون

كما أنه لا توجد طريقة واحدة لقياس المحتوي من المواد العضوية. فانه كذلك لا توجد طريقة واحدة للتخلص من كل المواد العضوية. ولهذا يلزم المراقبة الجيدة والتحكم فى وصول الملوثات إلى المياه العكرة بالإضافة إلى إتقان مراحل عمليات المعالجة لمياه الشرب.

الباب السادس

تطهير المياه

الباب السادس

تطهير المياه

Means of Water Disinfection

عملية تطهير المياه تصمم لقتل الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض بينمــــا عمليات المعالجة الأخرى باستخدام مواد الترويب والترسيب والترشـــيح يمكــن أن تقلل منها. المطهرات تشمل الكلور فى صوره المختلفة وهى الغاز المسال المعبــــأ فى اسطوانات ومسحوق هيبوكلوريت الكالسيوم ومحلول هيبوكلوريت الصوديــــوم ومركبات الكلور من الكلورامين وثانى أكسيد الكلور. والهالوجينات الأخرى مثـــل الفلور واليود والمطهرات الأخرى تشـــمل الأوزون، والأشـــعة فـــوق البنفســـجية برمنجنات البوتاسيوم كما تستخدم إمكانيات اخرى مثل الرقم الهيدروجينى المتبـــاعد عند حالة التعادل (Extreme PH,s) وغليان الماء.

القسم الأول

الكلــور

١- خواص الكلور:

فى الحالة الغازية الكلور عادة له لون أخضر – مصفر. ووزنه ٢,٥ مرة وزن الهواء. للأغراض التجارية يعبأ فى اسطوانات فى شكل سائل مضغوط لونه أحمــر ووزنه ١,٥ ضعف وزن الماء. وعند تحرر الكلور السائل مــن الاســطوانة فانــه يتحول الــى الغاز حيث تنتج وحدة الحجم من الكلور السائل ٤٥٠ ضعف الحجــم من غاز الكلور.

الكلور المحتجز فى الاسطوانة يمكن أن يكون فى شكل غاز أو سائل أو فـــى كليهما. والاعتبارات الخاصة بسائل الكلور تشمل كذلك غاز الكلور. ولـــهذا فــان ضغط غاز الكلور داخل الاسطوانة هو دلالة لدرجة الحرارة وليس له علاقة بحجــم المحتوى من الكلور، فنجد أن مقياس الضغط لأسطوانة الكلور بها واحد كيلو مـــن الكلور هو نفسه مقياس الضغط لأسطوانة بها ١٠٠ كيلو من الكلور تحـــت نفــس الظروف من درجات الحرارة. وعند زيادة درجة حرارة الكلور يزداد الضغط.

الكلور قليل الذوبان فى الماء وتصل أقصى نسبة ذوبان الكلور ١% عند درجة حرارة ٥، ٩°م. وعند درجة حرارة اقل من ذلك فان الكلور يتحد مع الماء ليكـــون مادة بلورية فى شكل الثلج. ونظراً لأن ضغط غاز الكلور يزداد بارتفـــاع درجـــة الحرارة فان ذوبان الكلور بالتالى يقل. فعند درجة حرارة ١٠٠°م لايذوب الكلـــور في الماء. وما بين ٥ , ٩° م و ١٠٠°م فان الكلور المذاب في الماء يكون محلـــول

عدواني (Corrosive Mixture) من أحماض الهيبوكلوزس والهيدروكلوريك والــذي يسبب مشاكل عند تداوله.

أ- الخـواص الكيمائيـة :

تحت ظروف معينة يتفاعل الكلور مع معظم المعادن وفي بعض الحالات يتــم التفاعل بسرعة عالية. نظرا لشراهة الكلــور العاليــة للــهيدروجين فانــه يزيــل الهيدروجين من بعض مركباته مثل حالة التفاعل مع كبرتييد الهيدروجين. ويتفــاعل الكلور مع النشادر أو المركبات الأخرى المحتوية علي النيتروجين ليكون مركبــات مختلفة من الكلورامين. ويتفاعل كذلك مع المواد العضوية وفي بعض الحالات يتــم ذلك مع حدوث انفجار.

الكلور ليس مشتعل أو مفرقع مثل الأكسجين ولكن يمكنه تنشيط الاشتعال لمواد معينة ولذا يلزم تداوله وتخزينه بعيدا عن الغـــازات المضغوطــة مثــل الأمونيــا (النشادر) وكذا المواد القابلة للاشتعال. معظم المعادن العادية لا تتأثر في درجــات الحرارة العادية بالكلور الجاف سواء غاز أو سائل. الكلور يتفاعل مع الألومنيـــوم ويحرق الصلب الكربوني عند درجة حرارة اكبر مـــن ٢٥٥°م. ويعتــبر الكلــور الرطب عدواني لكل المعادن العادية عدا الذهب، الفضة، البلاتين، التيتانيوم وبعـض السبائك الخاصة.

ب- التـأثير الفسيـولوجـي :

غاز الكلور هو غاز خانق ويمكن كشف وجوده في الهواء بالاستنشاق في حالة زيادة تركيزه عن ٣ جزء في المليون. كما يسبب الكلور التهابات بالجلد (خاصة في وجود رطوبة) والجهاز التنفسي وأغشية التنفس وذلك طبقا للتركيز وزمن التعرض وفي الحالات الشديدة يمكن أن تحدث الوفاة بسبب الاختناق . كما أن سائل الكلــور يمكن أن يسبب احتراق للعينين والجلد عند التصاقه بهذه الأعضاء. عند وجود سائل الكلور في وعاء غير مغلق فإنه يتبخر بسرعة وينتج نفس التأثير كمـــا فـــي غـــاز الكلور. التركيز من ٤٠ – ٦٠ ملليجرام / لتر لمدة ٣٠ – ٦٠ دقيقة يعتبر خطـــير

جدا . والتركيز الأعلى من ذلك يمكن أن يشكل خطورة شديدة ولو في فترة زمنية وجيزة.

جـ- تفاعلات الكلور مع الماء :

عند إضافة الكلور إلى ماء نظيف كيميائيا فانه يكون محلول من كلا من حامض الهيبوكلورس وحامض الهيدروكلوريك.

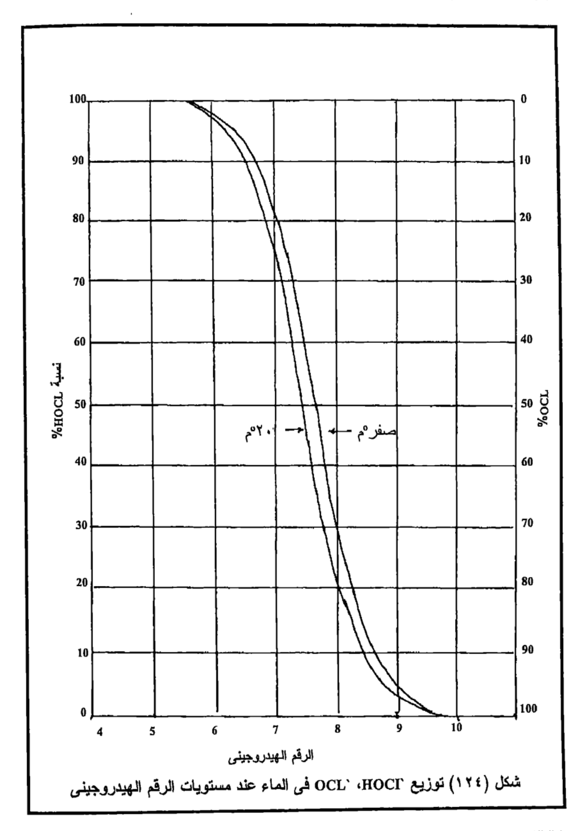
$$CL_2 + H_2O \rightleftarrows HOCL + H^+CL^-$$

عند درجات الحرارة العادية للمياه فان هنا التفاعل يتم فى ثوانى. و عند رقم هيدروجينى ٤ وفى المحلول المخفف فان التفاعل يميل الى جهة اليمين مع وجود قليل من الكلور فى المحلول .

تتوقف قوة الأكسدة للكلور وقدرته علي التطهير علي تكون حامض الهيدروكلورس (HOCL). يتآين حامض الهيبوكلوروس فى تفاعل لحظى الى الهيدروجين وأيون الهيبوكلوريت وهذا التفاعل كذلك عكسى وتتوقف درجة التأين على الرقم الهيدروجينى ودرجة الحرارة.

$$HOCL \rightleftarrows H^+ + OCL^-$$

حامض الهيبوكلورس هو حامض ضعيف ويتحلل عند رقم هيدروجينى اكبر من ٦. ولذا فان الكلور يوجد غالبا كحامض هيبوكلورس عند رقم هيدروجينى منخفض نسبياً. عند رقم هيدروجينى ما بين ٦ – ٨,٥ يحدث تغير حاد من حامض الهيبو كلورس الغير متحلل الى تحلل كامل للحامض. وتزداد نسبة أيون الهيبوكلوريت عند رقم هيدروجينى ٩,٥ فاكثر. الشكل (١٢٤)



شكل (١٢٤) توزيع HOCl، OCL` فى الماء عند مستويات الرقم الهيدروجينى

الرقم الهيدروجينى لمياه الشرب المكلورة هو عادة فى المجـال حيـث يكـون الكلـور فى شكل حامض الهيبوكلورس وأيون الهيبوكلوريت وهـذا مـا يعـرف بالكلور الحر المتاح (Free Available Chlorine). أيون الهيبوكلوريت (OCL^-) ينتج كذلك عند تأين المركبات المحتوية علي الكلور مثل هيبوكلوريت الكالسـيوم (٧٠% كلور) $Ca(OCL)_2$ وهيبوكلوريت الصوديوم NaOCl فى حالة وجودهما فى الماء.

$$Ca(OCl)_2 + H_2O \rightleftarrows Ca^{++} + 2OCl + H_2O$$
$$NaOCl + H_2O \rightleftarrows Na^+ + OCl + H_2O$$

ويحقق أيون الهيبو كلوريت توازن مع الهيدروجين طبقا للرقـم الـهيدروجينى كما فى المعادلة

$$HOCL \rightleftarrows OCL^- + H^+$$

لذا فإن نفس حالة الاتزان (Equilibrium) تتوفر فى المياه سواء استخدم الكلـور أو مركبات الهيبو كلوريت. يميل الكلور الى خفض الرقـم الـهيدورجينى وتميـل مركبات الهيبو كلوريت لزيادتها. من المعادلة الآتية فان حـامض الـهيبوكلورس الناتج وكذا أيون الهيدروجين يعملا على خفض الرقم الهيدروجيني ومن ثم خفـض القلوية وزيادة الحموضة. كل جزئ من الكلور يتعادل.مع ٠,٧ جزئ مـن القلويـة مقيما ككربونات كالسيوم وقد تصل درجة التعادل الى ١,٤ طبقـا لدرجـة التـأين لحامض الهيبوكلـورس وطبيعة استهلاك الكلور بالمواد الموجـودة فـى المـاء. والعسر الموجود فى الماء من أملاح كربونات أو بيكربونات الكالسيوم والمغنيسيوم يقوم بالتعادل مع التغير فى الرقم الهيدروجيني للمياه بما يمنع حدوث إضافة قليلـة من الحموضة أو القلوية للمياه. وعند إضافة كميات كافية من الكلور لخفض القلويـة الطبيعية عندئذ يتم تصحيح القلوية الطبيعية بمعالجة ثانوية. أملاح الـهيبوكلوريت تحتوى عادة على زيادة فى القلوية وتميل الى رفع الرقم الهيدروجينى.

$$2Na_2\,ClO_2 + 2H_2O \rightleftarrows 2HOCL + 2NaOH$$

٣- مركبات الكلور:

أ- الهيبوكلوريت : Hypochlorites

وهي أملاح حامض الهيبوكلورس (HOCL) ويمكن ان تكون جافة أو سائلة طبقاً لتوفرها تجاريا. محلول الهيبوكلوريت يحتوى على زيادة فى القلوى الذى يزيد من الرقم الهيدروجينى وبالتالى يؤثر على نسبة كلا من حامض الهيبوكلورس وأيون الهيبوكلوريت. تستخدم مركبات الهيبوكلوريت فى الحالات الحرجة وفى عمليات تطهير المياه الميدانية وفى العمليات الصغيرة.

* هيبوكلوريت الكالسيوم المستخدم فى تطهير مياه الشرب يختلف كثيراً عن المادة التى استخدمت لسنوات طويلة كمسحوق لتبيض قماش الدمور. وهو كلوريد الجير أو الجير المطفى المكلور والذى يتكون من مركبات غير مستقرة معظمها من اكسيكلوريد الكالسيوم $Ca\ (OCL_2)$. ولكن الهيبوكلوريت الذى نعنيه هو هيبوكلوريت الكالسيوم عالي الجودة يحتوى على ٦٥-٧٠% كلور وذو لون أبيض وغير شره لامتصاص الماء وهو عبارة عن حبيبات ذات رائحة كلور قوية أو فى شكل بودرة أو أقراص ويذوب سريعاً في الماء.

* هيبوكلوريت الصوديوم يوجد عادة في الشكل السائل والمحلول يكون بتركز ما بين ٥ – ١٥% عادة وهو محلول صافي يميل إلى اللون الأصفر شديد القلوية عدواني وله رائحة كلور شديدة.

* ثبات مركبات الهيبوكلويت (Hypochlorites): الهيبوكلوريتات عالية الجودة ذات قوة أكسدة ونشطة. عند التخزين في درجة حرارة ٣٠°م لمدة عام يقل المحتوي من الكلور بنسبة ١٠%. التخزين في الأماكن الباردة يقلل من التلف والتحلل. معظم محاليل الهيبوكلوريت أقل ثباتا من مساحيق الهيبوكلوريت. وأقصي عمر للتخزين قبل الاستعمال هو ٦٠ – ٩٠ يوم. الضوء والحرارة تعجلان من تحلل محلول الهيبوكلوريت ويقل التحلل عند التخزين في أماكن جافة رطبة مظلمة أو في آنية معزولة عن الضوء.

ب – ثاني أكسيد الكلور (CLO 2 – Chlorine Dioxide) :

ثاني أكسيد الكلور لم يستخدم في تطهير مياه الشرب رغم أنه شديد المفعول في القضاء علي الكائنات الحية الدقيقة جميعها مثل حامض الـهيبوكلورس. ولا يتأثر بالرقم الهيدروجيني في المجالات العادية من ٦ – ٩ وكذلك لا يتأثر بوجود النشادر. يمكن إنتاجه واستخدامه فوراً كما يمكن قياسه بسهولة وهو مستقر إلى حد ما. في معظم الحالات يعتبر ثاني أكسيد الكلور متفوق علي الكلور في حالة إحكام استخدامه. ولكن تظهر ضرورة إنتاج ثاني أكسيد الكلور في الموقع في شكل محلول ثاني أكسيد الكلور. ويصنع هذا المحلول من محلول هيبوكلوريت الصوديوم والكلور. وهذا يعني بالنسبة للجرعات المتساوية من كل من الكلور وثاني أكسيد الكلور يصبح الأخير مكلف جداً.

$$2Na_2CLO_2 + Cl_2 \rightarrow 2ClO_2 + 2NaCl$$

ولكن تظهر أهمية ثاني أكسيد الكلور في التطهير في حالة وجود نيتروجين الأمونيا مع كميات من مركبات الفينول حيث أن إنتاج المياه عالية النقاوة بالكلور فقط يعتبر أمراً صعباً.

رغم أن ثاني أكسيد الكلور يستخدم عادة منفرداً فانه قد يستخدم مع أو يسبق أو يلي الكلور. ففي حالة استخدامه لتدمير الكلوروفينول فانه يستخدم مع الكلور في عمليات الكلورة المسبقة. وفي حالة استخدامه لأكسدة الحديد والمنجنيز فإنه يستخدم قبل الترويب والترسيب والترشيح يلي ذلك استخدام الكلور لأغراض التطهير في الشبكة.

جـ- تفاعلات الكلور مع الأمونيا :

تفاعلات الكلور مع المواد النيتروجينية الغير عضوية مثل الأمونيا (النشادر) له أثر كبير في عمليات الكلورة عند التطهير فعند إضافة الكلور إلى الماء الذي يحتوي أو مضاف إليه أمونيا. أيون الأمونيا يوجد في حالة إتزان بين الأمونيا (النشادر) وأيون الهيدروجين.

$$NH_4^+ \longrightarrow NH_3 + H^+$$

تتفاعل الأمونيا مع حامض الهيبوكلورس لتكــون مجموعــة مــن مركبــات الكلورامين والتي هي مثل حامض الهيبوكلورس تبطئ عمليــة الأكســدة للكلــور. ويمكن توضيح التفاعــل ما بين الكلور والأمونيا كالأتي: حيث يتكون كـــلاً مــن مونو، داى وتراى كلورامين.

مونو كلورامين	$NH_3 + HOCL \longrightarrow$	$NH_2\ Cl + H_2O$
داى كلورامين	$NH_2Cl + HOCl \longrightarrow$	$NH\ Cl_2 + H_2O$
تراى كلورامين	$NHCl_2 + HOCL \longrightarrow$	$N\ Cl_3 + H_2O$

وتتوقف نواتج التفاعل علي درجة الحرارة والرقـــم الــهيدروجيني والوقــت والنسبة بين كلاً من الكلور إلى الأمونيا (CL_2:N H_3) انخفـــاض درجــة الحــرارة وزيادة نسبة الكلور إلى الأمونيا وانخفاض الرقم الهيدروجيني يساعد فـــي تكويــن الداى كلورامين.

ويوضح الشكل (١٢٥) بنسبة الكميات بالوزن من المونو كلوراميـــن والــداى كلورامين التي تتكون عند الحالات المختلفة للرقم الهيدروجيني وذلك عنـــد نســبة الكلور إلى الأمونيا ٥ :١ (CL_2 : NH_3).

ويتفاعل الكلور كذلك مع المواد النيتروجينيـــة العضويـــة لتتكـــون مركبــات كلورامين العضوي. الكلور الموجود في الماء والمتحد مع نيـــتروجين الأمونيـــا أو النيتروجين العضوي يسمي الكلور الحر المتحد (Free Combined Chbrine). قـــوة الأكسدة لمحاليل الكلور تتغير طبقاً للرقم الهيدروجيني نظراً للتغير في نسبة HOCL : OCL^- والتي تقل عند ارتفاع الرقم الهيدروجيني حيث تزداد نسبة أيـــون(OCL). الكلورامين اقل قدرة في النشاط والتطهير عن الكلور الحر.

د – تفاعلات الكلور الأخري :

التفاعل بين كبريتيد الهيدروجين والكلور يتم عموما بسرعة مثل التفاعل الـذي يحدث بين الكلور والمواد المختزلة الأخرى

$$CL_2 + H_2S + 4H_2O \longrightarrow H_2SO_4 + 8HCL$$

أيـون الكلور المختزل ($HCL \rightleftarrows H^+ + CL^-$) لا يحقق قدرة الأكسدة للكلـور. من الناحية النظرية فان جزئ واحد من كبريتيد الهيدروجين يحتاج إلي ٥ , ٨ جزء من الكلور وعند حدوث هذا التفاعل يحدث بجانبه استهلاك لعشرة أجزاء من عسـر الكالسيوم ($AsCa\ CO_3$) عند رقم هيدروجيني ٩. كمـا أن التفـاعل مـع الحديـد والمنجنيز يؤثـر كذلك علي عملية الكلورة. فعند زيارة الرقم الـهيدروجيني فـي وجود الكلور تتأكسد مركبات الحديدوز والمنجنيز (Manganous) الثنائي بسـرعة إلي الأيدروكسيد الغير مذاب في الماء ولا يتدخل الكلورامين في تفاعلات الأكسـدة. الكلور الحر المتاح وليس الكلور المتحد مطلوب لأزالة الحديد المذاب عنـد رقـم هيدروجيني ٧ أو أكثر والمنجنيز المذاب عند رقم هيدروجينـي ١٠ حيـث يلـزم للحديد ٦ , ٠ جزء وللمنجنيز ٣ , ١ جزء من الكلور لكل جزء من الحديد والمنجنيز مطلوب إزالته وكذلك يستهلك ٣,٤ أجزاء من الكلور لأكسدة عسر الكالسيوم (مقيـم ككربونات كالسيوم).

ويوجد النيتريت في بعض المياه وخاصة الملوثة بميـاه الصـرف الصحـي وبعض مياه الصرف الصناعي. النيتريت يتأكسد بسرعة بالكلور وخاصة الكلـور الحر حيث يستهلك كل جزئ من النيتريت ١,٥ جزء من الكلور. وقد توجد بعـض المواد العضوية المختزلة في بعض مياه الشرب ولكن تركيزها عـادة منخفـض. وطبقا لتركيز الكلور المتوفر وزمن التفاعل فان بعض المـواد العضويـة المذابـة تتفاعل مع الكلور وإن كان الزمن اللازم لإتمام التفاعل مع المواد العضوية المذابـة عدة ساعات إلا ان بعض المواد العضوية المذابة تتفاعل بسرعة مع الكلور. وفـي بعض الظروف تتكون مركبات جديدة نتيجة إضافة أو استبدال الكلور. وفي بعـض الحالات الأخرى تتأكسد المركبات العضوية تماما. المركبات العضوية مع الكلـور

لها قدرة ضعيفة في القضاء علي البكتريا كمـــا ان لـــها علاقـــة بعمليـــة الكلـــورة لاستهلاكها للكلور وكذا لانتاج الطعم والرائحة.

٣ – الأثر البيولوجي والكيماوي للكلور في الماء:

أ – أثر السمية :

يقضي علي بكتريا الكلوليفورم والبكتريا المسببة للأمراض والكائنـــات الحيـــة الدقيقة كما يحد من أضرار البكتريا، يقلل من أثر الطعم والرائحة.

ب – الأثر الكيميائي :

الأكسدة : يؤكسد الحديد والمنجنيز والنترات ومركبات الكبريت الي الكبريتات. يتحد مع الأمونيا ويكون الكلورامين ومع النيتروجين العضوي ويكون الكلوراميـــن العضوي ومركبات الكلور ومركبات استبدال الكلور.

٤– عمليات الكلورة : (Chlorination Practices)

كانت عمليات الكلورة تتم بغرض التطهير وأدخلت عملية المعالجـــة بـــالكلور الأمونيا وذلك للحد من المذاق والرائحة المصاحبة عادة لعملية التطـــهير بـــالكلور. وتلا ذلك زيادة الكلورة (Superchlorination) لغرض أخر وهو تدمير وتحلل المواد المنتجة للرائحة والطعم المصاحبة عادة للمواد العضوية المحتوية علي الكلور ثـــم كانت معرفة نقطة الانكسار للكلورة (Break Point) ومعرفة أن الكلـــور المتبقـــي يمكن أن يكون في صورتين مع عملية الكلورة وهما الكلور الحر المتبقي او الكلور المتحد المتبقي.

أ– الكلور الحر المتبقي : Free Residuel Chlorine

عملية إنتاج الكلور الحر المتبقي تشمل حقن الماء بالكلور لإنتاج كلـــور حـــر متبقي إما مباشرة أو من خلال تحلل وتكسير الأمونيا الموجودة طبيعيا فـــي الميـــاه

(حتى لا تتحد الأمونيا مع الكلور مكونة كلور متحد متبقي من الكلورامين) مع استمرار هذا الكلور الحر المتبقي خلال مرحلة أو كل نظام المعالجة المياه. الكلور الحر المتبقي له قدرة أكسدة اكثر من المتحد. ولذا فعند الرغبة في أنتاج كلور حر غير متحد فان خصائص المياه هي التي تحدد أسلوب التنفيذ.

* في حالة عدم احتواء المياة علي امونيا (أو مركبات نيترجينية أخري) فان استخدام الكلور سينتج عنه توفر الكلور الحر المتبقي.
* في حالة وجود الأمونيا في المياة والتي ينتج عنها كلور متحد متبقي (كلورامين) فأنه يلزم تدميره بواسطة الكلورة الزائدة.

ب – نقطة الانكسار للكلورة : (Breek Point Chlorination) شكل (١٢٦)

التركيز الجزئ NH3 : CL2 (كنتروجين) حتى ١ : ١ يكون مونو كللورامين ودايكلورامين. الكلورامين المتبقى يبلغ أقصاه عند تساوى التركيز الجزئى لكل من الكلور والامونيا. اى زيادة فى تركيز الكلور عن الامونيا ينتج عنها أكسدة للأمونيا واختزال للكلور. تفاعل الأكسدة والاختزال يكتمل عند إضافة ٢ جزئ من الكلور لكل جزئ من الامونيا مع توفر الزمن اللازم للمكث. عندئذ يقل الكلورامين المتبقى الى اقل قيمة "نقطة الانكسار" عندما تكون نسبة الكلور الى الامونيا ١:٢ حيث تفاعل الأكسدة – الاختزال. إضافة كلور زائد ينتج عنه كلور حر متبقى. ولذلك فان الكلورامين المتكون بإضافة الكلور الى الماء المحتوى على امونيا يظل كما هو طالما أن نسبة الامونيا عالية، ولكن يبدا الكلورامين فى التحلل والتكسير عندما تزيد نسبة الكلور وقبل نقطة الانكسار فان حامض الهيبوكلورس (HOCl) الغير متفاعل يظل فى المحلول. المعادلات التالية تعطى تصور للتفاعلات التى قد تحدث لتحلل الكلور.

$$2NH_3 + 3CL_2 \longrightarrow N_2 + 6HCL$$

$$4NH_2CL + 3CL_2 + H_2O \longrightarrow N_2 + N_2O + 10HCL$$

$$2NHCL_2 + H_2O + CL_2 \longrightarrow N_2O + 4HCL$$

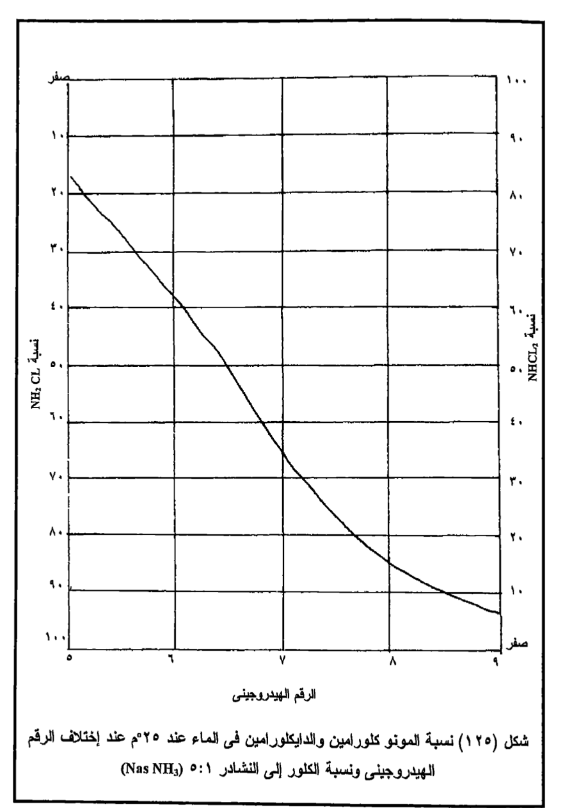
$$NCL_3 + Cl^{\alpha} + 2H_2O \longrightarrow NO_2 + 4HCL$$

وهذه المعادلات توضح جرعة الكلور اللازمة للحصول على كلـور حـر متبقـى. الجدول التالى يوضح الجرعة النظرية من الكلور – الامونيا لحدوث التفاعل.

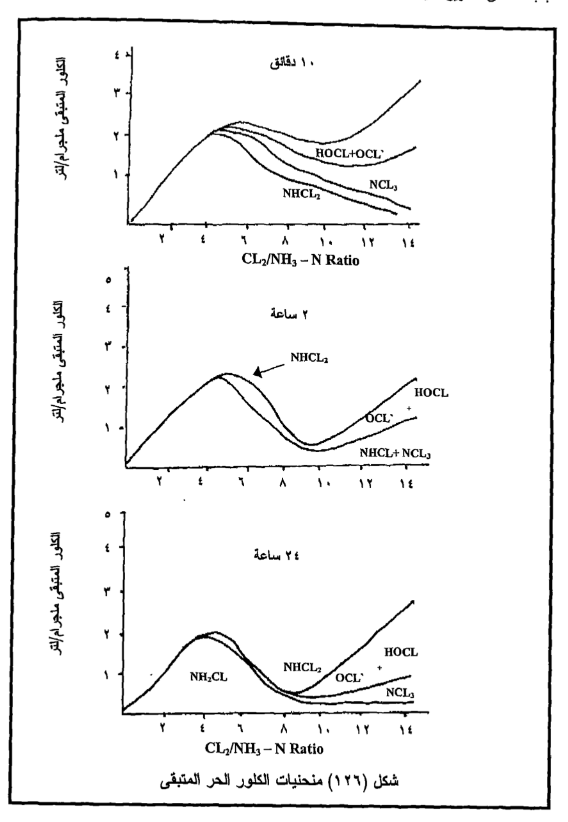
جرعة الكلور اللازمة لتفاعلات الكلور – الأمونيا

التفاعل	ملجرام كلور/ ملجرام أمونيا	التفاعل	ملجرام كلور /ملجرام/ أمونيا
مونو كلورامين NH_2CL	٤,٢	نيتروجين N_2	٦,٣
دايكلورامين $NHCL_2$	٨,٤	نترات NO_3	١٦,٧
تراى كلورامين NCL_3	١٢,٥	ونيتريت	
الجرعة التصميمية للحصول على كلور حر متبقى ٩ ملجرام كلور/ملجرام أمونيا			

يلاحظ أن كم كبير من الكلور لازم لإنتاج النترات واقل منه قليلا لازم لتكويـن الكلورامين. ولكن نسبة الكلور الي الأمونيا بالوزن لتكوين النيـتروجين أقـل مـن اللازم لتحويل كل الأمونيا إلى الدايكلورامين. وقد ثبت أن النيتروجين هـو النـاتج الرئيسي عند تفاعل المتبقي الحر. ولكن الخبرة العملية تتطلب ٨ مليجرام كلـور / مليجرام نشادر ولكن الجرعة ٩ – ١٠ مليجرام كلور / مليجرام نشـادر مطلوبـة لأغراض التصميم. ومن الناحية العملية فان تركيز التراكلورامين يزداد بسرعة مـع زيادة جرعة الكلور عن أقصاها ولذا فإن الزيادة في جرعات الكلور يلزم تجنبـها وهذا مبين فى الشكل (١٢٦). وعمليا نظرا لوجود المواد العضوية والمواد الأخرى النشطة مع الكلور قد يتطلب حتى ٢٥ من الكلـور ضعـف نيـتروجين الأموينـا للوصول إلى هذه النقطة. بعد عملية الكلورة والحصول على الكلور المتبقى الـذى يلى نقطة الانكسار فإن الكلور المتبقى الناتج يتكون من ٩٠% كلور متبقـى حـر وبنسبة قليلة من الكلور المتبقى المتحد. شكل (١٢٧)



شكل (١٢٥) نسبة المونو كلورامين والدايكلورامين فى الماء عند ٢٥°م عند إختلاف الرقم الهيدروجينى ونسبة الكلور إلى النشادر ١:٥ (Nas NH_3)



شكل (١٢٦) منحنيات الكلور الحر المتبقى

استخدام الكلورة المتبقية الحرة أو كلورة نقطة الأنكسار مناسب فى الحالات الأتية:

* عندما تكون نوعية المياه ردئية مع ملاحظة عدم القدرة على إيقاف نشاط الفيروسات الضارة.
* لأكسدة الحديد والمنجنيز.
* عندما يكون زمن المكث غير كافئ لتحقيق التطهير لتوفير التطهير بالكلور المتحد العادى.
* عندما يكون هناك مذاق غير مقبول للمياه وكذا الرائحة الغير مقبولة.
* للحد من نمو الطحالب على المرشحات وإطالة دورات الترشيح.
* للقضاء على البكتريا المقاومة للكلور وكذا نمو البكتريا فى شبكة التوزيع.

د- الكلور المتحد المتبقى : (Combined Residual Chlorine)

عملية الكلور المتحد المتبقى هو كلورة المياه مع الأمونيا الطبيعية سواء كانت موجودة أصلا فى الماء أو مضافة للحصول على الكلور المتحد المتبقى واستمراره خلال وحدة المعالجة أو شبكة التوزيع. الكلور المتحد المتبقى له قدرة أكسدة أقل من الكلور الحر المتبقى وكذا أقل قدرة فى عملية التطهير وقتل الكائنات الحية الدقيقة. حيث أن ما يعادل ٢٥ ضعف من الكلور المتحد المتبقى للحصول على نفس النتيجة تحت الظروف المتساوية من الحرارة والرقم الهيدروجينى وزمن المكث مقارنة بالكلور الحر.

خصائص المياه هى التى تحدد الحصول على كلور متحد متبقى وذلك فى الحالات الأتية:

* إذا أحتوى الماء على الأمونيا الكافية لانتاج الكلور المتحد المتبقى بالقدر المطلوب فإن إضافة الكلور فقط تكفى.
* فى حالة احتواء المياه على أمونيا قليلة جدا أو عدم وجود أمونيا بالمياه فإن إضافة الأمونيا والكلور قد تكون مطلوبة فى حالات خاصة.
* فى حالة احتواء الماء على كلور حر متبقى فإن إضافة الأمونيا سوف تحول الكلور الحر المتبقى الى كلور متحد متبقى.

عملية الكلورة التى تحقق كلور متبقى متحد تتم بعد الترشيح للقضاء على الطحالب والبكتريا بعد نموها وتقلل من المياه الحمراء فى النهايات الميتة لشبكات المياه كما أنها توفر الكلور المتحد المتبقى خلال الشبكة حتى صنبور المستهلك. عادة الكلورة لانتاج الكلور الحر تسبق الكلورة لنتاج الكلور المتحد (التى تتم بعد الترشيح) وذلك للحصول على مذاق جيد للمياه إلا فى حالة توفير زمن مكث أكبر.

٥ – التطهير البيولوجي : Biological Control

يبنى التطهير بالكلور على أساس الحصول على كمية محددة وذات نوعية خاصة من الكلور المتبقى بعد تمام المعالجة لتأكيد صلاحية المياه للشرب.

المياه المحملة بالميكروبات هى المتعلقة بميكروبات حمى التيفود والدوسنتاريا والإضرابات المعوية المختلفة والبكتريا الخاصة بهذه الأمراض هى من نوع السلمونيلا والشيجيلا. ويمكن تحديد فعالية التطهير باختبار وجود كائنات الكوليفورم. وذلك حيث أن بكتريا حمى التيفود وغيرها هى على الاقل لها مقاومة مثل الكوليفورم وأن عدوانيتها تتمثل فى المياه الحاملة لبكتريا السلمونيلا والشيجيلا. من المعلوم أن الفيروسات المعوية تختلف فى حساسيتها ومقاومتها للكلور وكذلك فإن الفيروسات أكثر مقاومة للكلور من الكوليفورم والبكتريا المعوية الأخرى.

أ– الجرعات من المطهر اللازمة للتطهير :

أقل كمية من الكلور المتبقى عند درجات حرارة ٢٠–٢٥°م باستخدام زمن مكث ١٠ ق مع التعرض للكلور الحر المتبقى عند رقم هيدروجينى ٦–٨ هى كلور حر متبقى لا يقل عن ٠,٢ مليجرام /لتر وعند رقم هيدروجينى ٨–٩ لا يقل عن ٠,٤ مليجرام /لتر. وفى حالة الكلور المتحد المتبقى وزمن مكث ٦٠ق وعند رقم هيدروجينى ٧–٨ لا يقل الكلور المتحد المتبقى عن ١,٥ مليجرام /لتر وعند رقم هيدروجينى ٨–٩ لا يقل عن ١,٨ مليجرام / لتر. وهذه القيم لا تناسب جميع أنواع المياه وخاصة المياه العكرة وعند درجة حرارة أقل من ٢٠°م.

وبالنسبة لإبادة الحويصلات (الجارديا) وهى جرعة تقتل كل البكتريا وهى مالا يقل عن ٠,٥ مليجرام / لتر للكلور الحر المتبقى، ٢,٥ مليجرام / لتر للكلور المتحد المتبقى مع زمن مكث ٣٠ دقيقة ودرجة حرارة ٢٢-٢٥ºم. لإزالـــة الفيروســات نتيجة التلوث بمياه الصرف أو المخلفات الآدمية فإن التطهير المناسب هــو بتعقيــم المياه (غلي المياه عند درجة حرارة ١٠٠ºم). ولا يقاف نشــاط الفيروســات فــإن حامض الهيبوكلورس (HOCl) يعتبر المؤثر فى إيقاف نشاطها حيــث يلــزم ٠,٥ مليجرام /لتر من الهيبوكلورس مع زمن مكث ٣٠ق. ولذلك فإنه فى حالــة تلــوث المياه بالفيروسات يلزم توفر كلور حر متبقى فى مجال رقم هيدروجينـــى مناســب لانتاج حامض الهيبوكلورس. ونظرا لأن مثل هذه المياه بها نتروجين أمونيا بكميات كبيرة فإنه يلزم توضيح نقطة الانكسار للكلور (حيث حامض الــهيبوكلورس الــذى يتكون أثناء عملية نقطة الانكسار وكذلك الذى يتكون بعد أكتمال تفاعلات الانكســار يكون مناسب لإيقاف نشاط الفيروسات). المياه المحتوية على نيتروجين الأمونيا من ٠,١ إلى ١ مليجرام/لتر فإن أفضل رقم هيدروجينى للكلور الحر المتبقـــى لانتــاج مياه خالية من الفيروسات هو ٧,٥ فى هذا المجال ستتواجد نسبة كبيرة من حــامض الهيبوكلورس مع عدم احتمال تكون ثلاثى كلوريد النيتروجين عنه فى المياه الأشــد حموضة.

ب- أماكن ونقاط استخدام الكلور:

(١)- الكلورة المسبقة : Prechlorination :

وهى استعمال الكلور قبل أى عملية معالجة، وهى تحقق زيادة كفاءة الترشـــيح للمياه بتقليل حمل البكتريا والطحالب والفطريات وتحسن عملية الترويب وتقليل آثار المذاق والرائحة والمواد المسببة للألوان بأكسدتها وتوفير عوامل الأمـــان لتطـــهير المياه شديدة التلوث مع الاحتفاظ بالكلور المتبقى فى شبكة التوزيع أقل مــا يمكــن. وعند استعمال الكلورة المسبقة فإنه يمكن الحصول على زمن مكث أطول مــــا يمكــن وذلك يحقن الكلور فى مآخذ السحب للمياه العكرة لتوفير الالتصاق الجيد بين الكلور والماء خلال مراحل الترويق للمياه. وطبيعي فإن الجرعة تتوقف علي الهدف. ففــي

بعض الحالات يلزم توفير الكلور الحر المتبقي وفي حالات اخري يكتفي بـــالكلور المتحد المتبقي مع الاهتمام بتوفير الكلور المتبقي الضروري لتحقيق الهدف.

(٢) – الكلورة التالية : (PostChlorination)

وهي كلوره المياه بعد أي عملية من عمليات المعالجة واهم عمليات الكلـــورة التالية هي التي تلي عملية الترشيح بغرض التطهير للحصول علي كلور حر متبقــي أو كلور متحد متبقي في كل شبكة التوزيع. ويؤخذ في الاعتبار زمن المكث حيــث يضاف الكلور للمياه الخارجة من المرشح (زمن المكث في الخزانـــات العلويـــة أو الأرضية بعد المرشح). وعندما تلي الكلورة التالية الكلورة الأولية وتســبق عمليــة الترشيح يتم الحصول علي كفاءة ترشيح عالية.

(٣) – إعـادة الكلورة : (Rechlorination)

وهي حقن الكلور في الماء بعد معالجة المياه ويتم ذلك في نقطة أو اكثر فـــي شبكة التوزيع حيث يتكون كلور حر متبقي أو كلور متحد متبقي. ويتم ذلــك عــادة عندما تكون شبكة التوزيع طويلة جدا ومعقدة وعندما يكون الكلــور المتبقــي مــن محطة المعالجة غير كافي للقضاء علي البكتريا والطحالب التي تنمو...الخ. يمكــن حقن الكلور في نهاية خط التغذية الرئيسي الطويل فى شبكة التوزيع. وفي منطقـــة التوزيع ومن الخط الرئيسي الي تجمع سكني بعيد او في بعض الأماكن كالخزانـــات والمواسير الرئيسية او محطات الضخ.

(٤) – إزالـة الكلورة : (Dechlorination)

إن المحافظة علي كمية ثابتة من الكلور الحر المتبقي أو الكلور المتحد المتبقــي تعمل فقط كدليل عملي لتطهير المياه ولا يمكن استبدالها بالتحـــاليل البيولوجيـــة أو التحاليل الميكروسكوبية. حيث إن تأكيد خلو المياه من الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض سيظل الوسيلة الوحيدة لتحقيق صلاحية المياه للشرب. وعنـــد اســتخدام الكلور الحر أو المتحد المتبقي مع استمرار التطهير. إلا انه في بعـــض الحـــالات يــكون المتبقي غير مرغوب فيه مما يتطلب إزالته.في حالة زيادته وخاصـــة فـــي

حالة زمن المكث قليل (بين الماء والكلور) جدا. حيث تجرى الكلورة المسبقة في وحدة المعالجة أو الكلورة البسيطة في خط المواسير تليها إزالة الكلور مع أهمية وجود كلور حر متبقي ٠,١ مليجرام / لتر في صنبور آخر مستهلك في الشبكة. يعتبر استخدام ثاني أكسيد الكبريت مناسب وأقتصادي. أساس عمل مواد الأختزال أو مزيلات الكلور (Dechlors) هو إمكان استخدامها بعد الكلورة البسيطة كما يستخدم سلفيت الصوديوم ($Na_2 S$) وإن كان ثاني أكسيد الكبريت اكثر ثباتا واقل في التكلفة. ويستخدم ثيوسلفيت الصوديوم لإزالة الكلور عند عمل التحاليل اليكتريولوجية ($Na_2 S_2 O_3$) للمياه، كما يستخدم كذلك في معالجة المياه للأغراض الصناعية. وقد يستخدم الفحم المنشط.

جدول (١٤) الكيماويات المستخدمة لازالة الكلور

المـــادة	جزء مطلوب لازالة جزء من الكلور	القلوية المستهلكة ككربونات كالسيوم
ثاني أكسيد الكبريت SO_2	٠,٩	٢,٨
سلفيت الصوديوم ($Na_2 SO_3$)	١,٤٦	١,٣٨
يثوسلفيت الصوديوم ($Na_2 S_2 O_3$)	١,٧٧	١,٣٨
الفحم المنشط	٠,٠٨٥	٢,١

$$So_2 + Cl_2 + 2H_2O \longrightarrow 2HCL + H_2SO_4$$

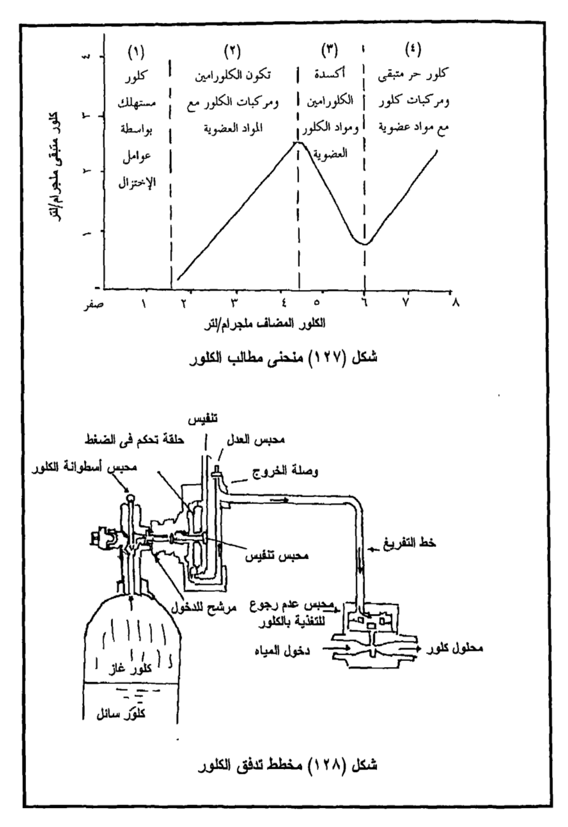
$$Na_2 So_3 + Cl_2 + 2H_2O \longrightarrow Na_2SO_4 + 2HCL$$

$$Na_2 S_2 O_3 + Cl_2 \longrightarrow Na_2 S_4 O_6 + 2Na\,Cl$$

تخزين المياه المحتوية علي الكلور لفترة طويلة في وجود أشعة الشمس يعمل علي الاختفاء التدريجي للكلور المتبقي.

٦-اعتبارات هندسية :

بالإضافة إلى الاعتبارات الكيماوية الخاصة بكفاءة التطهير. فان الاعتبـــارات الهندسية لها أهميتها. حيث يلزم الخلط السريع والجيد للكلور مـــع المـــاء الجـــاري تطهيره بما يمكن من قتل حوالي ٩٠% من الكائنات الدقيقة في وقت قصـــير جـــدا قبل أن يتمكن الكلور المضاف من التفاعل مع المواد النيتروجينية الموجودة. وذلـــك لأن الخلط الغير جيد يساعد علي تكوين الكلورامين في بعض أجزاء من المياه قبـــل الالتصاق بالكائنات الدقيقة في أجزاء أخري. ولهذا يمكن رفـــع كفـــاءة التطـــهير بوحدات الخلط السريع جدا. كما أن تصميم خزانات المكث للكلور مع الماء هام جدا وذلك من ناحية شكل الخزان والعوائق (Baffles) المناسبة يعتبر حساس وهام.



شكل (١٢٧) منحنى مطالب الكلور

شكل (١٢٨) مخطط تدفق الكلور

٧- كلورة شبكة التوزيع :

أ- الإنشاءات الجديدة :

يلزم الحرص في تطهير شبكة التوزيع المنشأة والجاري إنشائها فمن بين مصادر التلوث التسرب لمياه الصرف وكذا التربة الملوثة في خنادق الحفر والتلوث بفعل عمال الإنشاءات أو من معدات الإنشاء وكذا التلوث من المواد الغريبة في الخندق أثناء الإنشاء. ولذلك يكون من المهام الأساسية لعمال الإنشاءات تجنب التلوث للمهمات أثناء العمل حيث يلزم وضع المواسير علي أماكن مرتفعة قبل التركيب، كما يجب سحب المياه من الخندق قبل تركيب المواسير مع الاهتمام بتغطية فتحات المواسير لمنع دخول المياه. كما يجب فحص كل ماسورة، محبس، ووصلة وتنظيفها قبل التركيب.

بعد اختبار الضغط للشبكة يتم ضخ المياه فيها بسرعة مناسبة لإزالة كل المواد الغريبة. وعند اكتمال هذه العملية يمكن إجراء التطهير باستخدام الكلور السائل أو هيبوكلوريت الصوديوم أو الكالسيوم بأحد الطرق الأتية:

ب- التغذية المستمرة :

في هذه الطريقة يتم التغذية بالمياه المعالجة والكلور (سائل الكلور أو محلول الهيبوكلوريت) بمعدل ثابت وبتركيز لا يقل عن ٥٠ مليجرام / لتر من الكلور حتي امتلاء المصدر. تظل المياه لمدة لا تقل عن ٢٤ ساعة حيث خلال هذه الفترة يلزم تشغيل المحابس ومحابس التصريف... الخ حتى يمكن تطهيرها. وبعد انقضاء ٢٤ ساعة فانه يجب ألا يقل الكلور المتبقي عن ٢٥ مليجرام / لتر في المصدر الجديد. شكل (١٢٨)

جـ- الطريقة البطيئة :

وفي هذه الطريقة تجري التغذية المستمرة بجرعة ثابتة كما في الحالة الثابتة وبالمعدل الذى يعطي جرعة كلور لا تقل عن ٣٠٠ مليجرام / لتر. مع استمرار

التغذية بالكلور لمدة زمنية تسمح بتلامس المياه المكلورة الـــي الأســطح الداخليـــة للمصدر لمدة لا تقل عن ٣ ساعات. مع مرور المياه المكلــورة خــلال المحــابس والقطع والتقاطعات... الخ كما يجب تشغيل المحابس لضمان التطـــهير. وتســتخدم هذه الطريقة للأقطار الكبيرة حيث التغذية المستمرة تكون غير عملية.

د- طريقة الأقراص : (Tablet Method)

لا يستخدم الغمر في هذه الطريقة رغم أنها تستخدم عادة فـــي المواســير ذات الأقطار الصغيرة. في هذه الطريقة توضح حبيبات هيبوكلوريـــث الكالســيوم فـــي أجزاء من الماسورة والمحابس والقطع. ثم يتم الملئ البطئ بالماء بسرعة في حدود ٣٠ سم / الثانية وذلك لعدم كسح الهيبوكلوريت الي نهاية المصدر. المحلول الأخير يجب ان يحتوي علي كلور متبقي لا يقل عن ٥٠ مليجرام / لتر وان يظــل زمــن المكث لمدة لا تقل عن ٢٤ ساعة. وبظرف النظر عن الطريقة المســتخدمة. بعــد زمن المكث يتم صرف المياه التي بها الكلـــور متبقـــي مـــع عمـــل الاختبـــارات البكترويولوجية وفي حالة عدم مطابقة التحليل للمواصفات يتم إعادة خطة التطـــهير مع اختبار النتائج قبل وضع مصدر المياه في الخدمة.

هـ- التطهير لعمليات الإصلاح :

أعمال التلف في الشبكات بمثل اكبر المشاكل المسببة للتلـــوث. حيــث ينتــج التلوث في منطقة التلفيات بالإضافة إلى ان الإسراع الضروري لعمليـــة الإصـــلاح يزيد من التلوث. لذلك مع تتبع التلف وتحديد الكسر المعرض للتلوث يلزم العمـــل علي عزل مياه الصرف وأي مصادر تلوث أخري. في حالة توفر الوقــت يســتمر ضخ المياه في الخط وسحب المياه وضخها من الخندق. وهذه الطريقة سوف تزيــل كثيرا من الملوثات التي اندفعت الي المواسير. واقل قدرة من التطهير تشمل غســيل الماسورة الجديدة والوصلات بمحلول الهيبوكلوريت ٥% قبــل الــتركيب وعندمـــا تسمح الظروف يتم عزل منطقة التلفيات التي تم إصلاحها مع تعرضـــها للتطـــهير بأحد الطرق السابقة للمنشأت الجديدة وذلك مع زيادة الجرعة الي ٥٠٠ مليجـــرام /

لتر وزمن المكث لا يقل إلى ٣٠ ق. يتم التحليل البكتريولوجي للعينات بعد التطهير لاختبار عملية التطهير.

و- تطهير الخزانات ومستودعات المياه :

يتم عمل خطة للتنظيف والتطهير للخزانات، حيث يمكن تطهير الخزانات بطرق مختلفة. أحد هذه الطرق هو الإضافة المباشرة للكلور مع المياه لملئ الخزان، أو إضافة محلول الهيبوكلوريت للمياه، أو إضافة مسحوق هيبوكلوريت الكالسيوم الي الخزان بعد ملئه بالمياه وذلك بالرش والتوزيع علي سطح المياه أو الإزابة المسبقة ثم الرش علي سطح المياه في الخزان. وفي جميع الحالات يلزم توفير ٥٠ مليجرام / لتر كلور متبقي لمدة لا تقل عن ٦ ساعات. كما يمكن استخدام طرق أخرى حيث بعد الغسيل الحوائط والأسطح الداخلية للخزان يمكن رشها بمحلول به ٥٠٠ مليجرام / لتر من الكلور وذلك للتطهير السريع للخزان بدون إلحاق أضرار للدهانات الداخلية للخزان.

ز- تطهير الآبار :

مثل حالات الشبكات والخزانات توجد خطورة من تلوث المعدات والمهمات والمياه السطحية أثناء عملية الإنشاء والإصلاح للبئر. حيث يلزم عمل التطهير بالكلور أو بأي مادة من مواد الكلور مع توفير من ٥٠ - ١٠٠ مليجرام / لتر كلور حر متبقي لمدة ١٢ ساعة لضمان التطهير المطلوب.

لتطهير بئر محفور قبل تركيب مكوناته (Dug Well) يتم غسيل القيسون أو الدهان الداخلي (السطح الداخلي) بمحلول كلور قوي (٥٠ مليجرام / لتر) وكذا طلمبة الأعماق وماسورة السحب. يتم تشغيل طلمبة الاختبار المؤقتة لملئ البئر ثم ترفع طلمبة السحب المؤقت ثم تضاف جرعة كلور ٥٠ مليجرام / لتر لكل المياه في البئر وحول المصفاه (فى التربة الجاملة) لمسافة مناسبة بما يعادل ضعف المياه فى البئر تقريباً. تركب الطلمبة وماسورة السحب ويغطي البئر ليظل محلول الكلور في البئر لمدة لا تقل عن ١٢ -٢٤ ساعة قبل الضخ وصرف المياه المحملة بالكلور.

أما في حالة البئر المتدفق أو الأرتوازى فإنه من الضروري الحد من التدفق المستمر للمياه للمحافظة علي كلور متبقي لها حيث يضاف محلول الكلور الي قاع البئر باتباع نفس الطريقة المستخدمة في البئر الجوفي ويتم ذلك باستخدام ماسورة حقن وهذا لعمل خلط ما بين الماء والكلور ما أمكن ثم مع تدفق البئر يوفر كلور متبقي ٥٠ مليجرام / لتر. ثم يغلق البئر تماما لمدة ١٢ ساعة ثم يفتح ويعاد ضخ المياه من البئر الي الصرف.

الاحتياطات: يلزم توفير وسائل ومهمات الأمان للعاملين في تداول الكيماويات وكذا تأمين الكائنات المائية من صرف المياه المكلورة بما يتطلب إزالة الكلور قبل صرفها.

ح- تنظيم إضافة الكلور : (Chlorination Control)

(١) مطالب الكلور Chlorine Demand

تختلف خصائص المياه طبقا للمصدر، وقد تختلف خصائص المياه لنفس المصدر من وقت لأخر. وتتأثر كمية الكلور المضافة طبقا لهذه الاختلافات ولهذا يلزم ضبط معدل الكلور ليس فقط طبقا لمعدل تدفق المياه ولكن كذلك لمواجهة التغير في نوعية المياه. من المواد النشطة والتي تتفاعل بسرعة مع الكلور المواد الغير عضوية المختزلة من الحديد والمنجنيز والأمونيا. وكذلك تتفاعل المواد العضوية.وتستهلك الكلور ولكن ببطئ مثل البروتينات والأحماض الأمينية والمواد الكربونية. هذه المواد العضوية والغير عضوية تستهلك الكلور الذي تحقن به المياه كما ان بعض التفاعلات وخاصة مع المواد الغير عضوية قد تحدث قبل إتمام عملية التطهير والقتل لكل الكائنات الحية الصغيرة وان كانت هذه الكائنات هي الأسرع في استهلاك الكلور ولهذا فان المواد التي تؤثر علي مطالب الكلور تعقد استخدام الكلور في عملية التطهير نظرا لوجوب استخدام الكلور الكافي ليس فقط لقتل الكائنات الدقيقة ولكن لتعويض الكلور المستهلك. التفاعلات مع المواد الغير عضوية سريع جدا والتفاعل مع المواد العضوية بطئ عموما وتتوقف معدلات التفاعل علي تركيز ونوع الكلور المستخدم عندما تكون إضافة الكلور بهدف معالجة

الخصائص الكيميائية للمياه مثل معالجة المذاق والرائحة من اثر المواد العضوية فان عملية الكلورة تكون حساسة. فعند إضافة الكلور لتحقيق كلور متبقي يكون الكلور المتبقي السائل هو الكلور المتحد المتبقي. وعند إضافة كلور لتوفير كلور حر متبقي عندئذ ستعود تفاعلات الأكسدة للمواد العضوية المسببة للرائحة والمذاق وذلك بتغيير هذه المواد أو تدميرها تماما وتحويلها الي مواد لا تسبب مذاق أو رائحة.

يعرف الكلور المطلوب بالفرق بين كمية الكلور المضافة الي الماء وكمية الكلور الحر أو المتحد أو اجمالي الكلور المتبقي حر ومتحد بعد فترة مكث (التصاق) محدودة. ولنوع معين من المياه فان مطالب الكلور تختلف طبقا لكمية الكلور المستخدم وزمن المكث ودرجة الحرارة.

(٢) الكلور المتبقي (Residual Chlorine)

نوع وكمية الكلور المتبقي المطلوبة لحالة تطبيقية معينة ترتبط بالغرض من المعالجة وتختلف من وقت لآخر ومن مكان لآخر. عندما يكون الهدف هو التطهير عندئذ يؤخذ في الاعتبار الرقم الهيدروجيني ودرجة الحرارة ومطالب الكلور وكذا حساسية الكائنات الدقيقة أو مقاومتها للكلور. ففي حالة طول زمن المكث والالتصاق بين الماء والكلور يكفي تركيز قليل من مادة التطهير بينما زمن المكث القليل يتطلب تركيز عالي لتحقيق نفس المعدل الكافي من التطهير. وكذلك زيادة قدرة التطهير وقتل الكائنات الدقيقة تزداد بزيادة درجة الحرارة. بينما يقل اثر الكلور كلما زاد الرقم الهيدروجيني.

ط- معدات الكلورة (Chlorination Equipment) شكل (١٢٨)

يجب أن تحقق معدات الحقن بالكلور الأتي:

* طرق تحديد والتحكم في التغذية الدقيقة بالكلور.

* نظام التحكم بالتفريغ لمنع تسرب الغاز مع القفل الآلي تحت أي ظروف في التشغيل.

* حاقن لعمل التفريغ المطلوب وحقن المحلول لتأمين الاستخدام الكفؤ لتدفقات المياه المستهدف تطهيرها.
* مقياس لقياس معدل التغذية بالكلور.
* طريقة مناسبة لتحديد والتحكم في معدل التدفق.
* وسيلة آمنة لتسرب الغاز الي الجو في حالة تلف محابس قفل الغاز.
* محبس عدم رجوع لمنع ارتداد المياه أثناء القفل بالإضافة إلى أجهزة قفل الغاز ومحابس التفريغ.

٨- ثاني أكسيد الكلور (CLO_2) :

في بعض الحالات يعتبر ثاني أكسيد الكلور البديل المناسب لتطهير مياه الشرب. فهو مؤثر في تدمير الفينولات (Phenols) ولا يكون مركبات الترايها لومثيان بكميات مؤثرة وكذلك خصائصه في التطهير لا تتأثر بارتفاع الرقم الهيدروجيني كما في حالة الكلور الحر المتبقي وبالتالي فهو مطهر سريع في الرقم الهيدروجيني المرتفع. ولهذا يستخدم كمطهر في البلاد التي تستخدم مصادر المياه الملوثة من المجاري السطحية لأغراض الشرب. وفي هذه الأماكن يستخدم عادة ثاني أكسيد الكلور بعد استخدام التطهير بالأوزون. ثاني أكسيد الكلور لا يتفاعل مع المواد العضوية المذابة في الماء لتكوين الترايها لومثيان ولا يتفاعل مع الأمونيا ليكون الكلورامين. ولهذا فان استمرار ثاني أكسيد الكلور فى الماء أطول من الكلور الحر المتبقي في نفس الظروف. ولكن ثاني أكسيد الكلور مثل الكلور حساس للضوء ولكن نظرا لأنه لا يتفاعل مع الماء مثل الكلور فإن المتبقي منه يمكن إزالته بالتهوية. ناتج التفاعل لثاني أكسيد الكلور يشمل (Aldhydes, Ketones and Carboxylic) أما المركبات الغير عضوية فتشمل الكلوريد والكلوريت (ClO_3) وقد ثبت أن هذه المركبات من مسببات تكون ميثو مجلو بين الدم (Methemoglabin) ولذلك فقد أوصت منظمة البيئة (EPA) بالا تزيد نسبة نواتج التفاعل مع الماء مع المركبات الغير عضوية التي ذكرت عن ١ جزء في المليون.

ينتج ثاني أكسيد الكلور لمعالجة ميـــاه الشـــرب مـــن كلوريـــت الصوديـــوم ($NaOCl_2$) مع الكلور (الغاز أو في شكل محلول) وذلك بالخلط ويكـــون التفـــاعل كالأتي :

$$\mathbf{Na\ OCl_2 + Cl_2 \longrightarrow 2ClO_2 + 2Na\ Cl}$$

وبالإضافة إلى تكون ثاني أكسيد الكلور فإنه قد يتكون أيون الكلوريـــت (ClO_3) كمنتج ثانوي كالأتي:

$$\mathbf{Na\ OCl_2 + Cl_2 + OH \longrightarrow NaClO_3 + HCl + Cl^-}$$

القسم الثاني

الأوزون (OZONE)

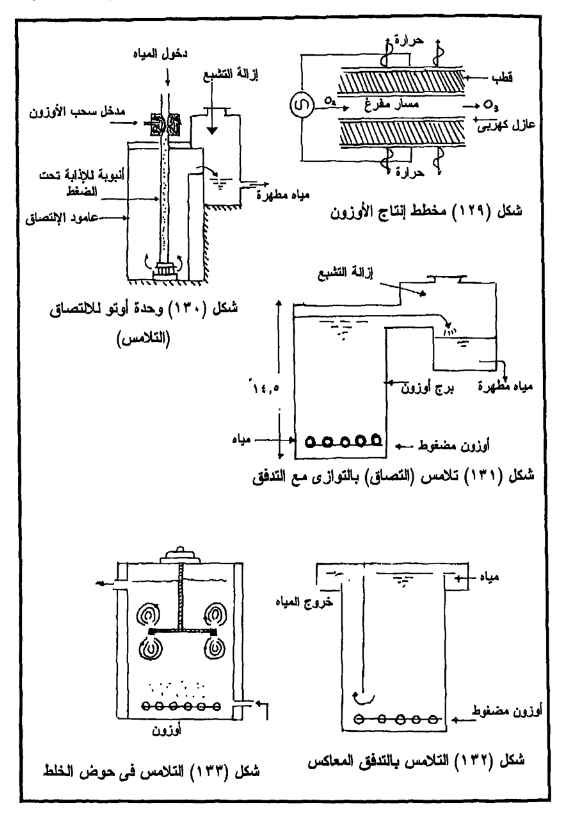
لقد تطابق استخدام الأوزون في معالجة المياه لأغراض الشرب مع استخدام الكلور في توقيت واحد، وان كان حاليا قل استخدامه عدا في بعض الدول وخاصة في ألمانيا، وفرنسا، وكندا. كما أزداد اهتمام الولايات المتحدة باستخدام الأوزون وذلك نظرا لاحتمال التأثير المسرطن لمركب الترايها لوميثان الناتج عند استخدام الكلور. الأوزون غاز نشط جدا، ورائحته نفاذة. واستخدام الأوزون في معالجة المياه يتطلب الفهم الجيد لخصائصه الطبيعية والكيميائية. كما تعتبر الخصائص الطبيعية ذات أهمية خاصة نظرا لأن إذابته في الماء ونشاط وتحلله، وثباته يتأثر بعدة عوامل معقدة. والأوزون غاز عديم اللون (O_3) يتم إنتاجه في الموقع ويتم تداوله في الألومنيوم والزجاج والسيراميك. ويتآكل الأوزون المتبقي في الماء سريعا ولكنه يستمر لمدة أطول في الرقم الهيدروجيني المنخفض وفي المياه ذات قدرة الدرئ العالية (Highly Bnffered Waters) فعند رقم هيدروجيني ٨ فإن نصف العمر للأوزون (Half Life) حوالي ٢٣ دقيقة. ويتوقف نصف العمر للأوزون علي نوعية المياه (الكربون العضوي الكلي (TOC)، الكربونات) وكذا علي جرعة الأوزون المستخدمة. والأوزون مؤثر في إيقاف نشاط الفيروسات، وقتل البكتريا، وأكسدة الخلايا الملونة (Chromaphores) بما يعمل علي إزالة الألوان. وفي حالات كثيرة فإن الأوزون يقلل من استعدادات المياه لتكوين مركبات الترايها لومثيان. والأوزون يعتبر مزيل للمذاق والرائحة، ويؤكسد الفينول والأوزون لا يكون الترايها لومثيان حتي في وجود البروميد بتركيز يصل الي ٠,٥ مليجرام/لتر. ويتفاعل الأوزون مع السيانيد (Cyanides) بمعدل سريع جدا. وتنشط عملية الأكسدة

في حالة وجود مركبات النحاس مع السـيانيد كوسـيط (Copper Complexes of Cyanides) ولكن التفاعل يثبط في حالة وجود مركبـات الحديـد المعقـدة (Iron Complexes) وبمجرد دخول الأوزون في المحلول، فإنه يسلك طريقين للتفـاعل. الأكسدة المباشرة والتي هي بطيئة نسبيا ولكنها اختيارية بدرجة كبـيرة، والتفكك الآلي (Auto Decomposition) الي الأيدروكسيد، وهذا التفاعل نشيط في وجود شق الأيدروكسيد أصلا في الماء، أو شق عضوي أو ثاني أكسيد الهيدروجين أو الأشعة فوق البنفسجية أو التركيز العالي لأيون الأيدروكسيد. وشق الأيدروكسـيد سـريع التأثير في أكسدة المواد العضوية بدون تمييز، ولكن في نفس الوقت، فإنـه يـزال بأيونات الكربونات والبيكربونات مكونا شـق الكربونـات والبيكربونـات، وهـذه المركبات ليس لها نتيجة في التفاعلات العضوية. ولهذا فإن الرقـم الـهيدروجيني المنخفض يساعد علي بطئ تفاعلات الأوزون المباشرة في الأكسدة، أمـا ارتفـاع الرقم الهيدروجيني أو زيادة تركيز المواد العضوية ينشط التفكك الآلي:

والتركيز العالي لعامل الدرئ (Buffer) من الكربونات أو البيكربونات وخاصة درئ الكربونات يقلل من معدل التفكك الآلي بإزالة شق الأيدروكسيد.

وهذا يعني أن الأوزون المتبقي (Ozone Residuals) يستمر أكثر فـي الرقـم الهيدروجيني المنخفض وكذا في المياه ذات الـدرئ العـالي (Highly Buffered) الأتي يوضح مسار تفاعلات الأوزون في الماء.

* تفاعل بطئ إنتقائي بالأكسدة المباشرة للمواد ذات القاعدة العضويـة، والكائنـات الدقيقة والنشادر.
* تفاعل سريع مع الأيدروكسيد أو الشق العضوي مكونا شق الأيدروكسيد:
* أكسدة الخمائر العضوية، والكائنات الدقيقة، النشادر وهو تفاعل سريع انتقائي.
* أكسدة أيون البيكربونات مكونا شق البيكربونات. وهو تفاعل متوسط.
* أكسدة أيون الكربونات مكونا شق الكربونات وهو تفاعل سريع.



شكل (١٢٩) مخطط إنتاج الأوزون

شكل (١٣٠) وحدة أوتو للالتصاق (التلامس)

شكل (١٣١) تلامس (التصاق) بالتوازى مع التدفق

شكل (١٣٢) التلامس بالتدفق المعاكس

شكل (١٣٣) التلامس فى حوض الخلط

الإنتاج والتخزين والتغذية بالأوزون :

الشكل (١٢٩) يوضح الطريقة الأساسية لإنتاج الأوزون. حيث توفـير جـهد كهربي (فولت-Electromotive Force) خلال قطبين مع وجود عازل وفاصل بينهما يتم إمرار الهواء خلال المسار المفرغ بين القطبين، حيث يتحول بعـض أكسـجين الهواء الي الأوزون. ويتوقف الفولت (فرق الجهد) اللازم لتوليـد الأوزون علـي ضغط المسار (Gap Pressure) وعرض المسار. وكذا فإن كفـاءة وحـدة إنتـاج الأوزون تزداد بزيادة التردد، معامل العزل، وتتناسب عكسيا مـع سـمك العـازل (Dieledric).

والعازل يكون قليل السمك ما أمكن ولو أن العازل الرقيق معـرض للتلـف. ونظراً لأن زيادة الإنتاج تتوقف علي مربع فـرق الجـهد أي أن الجـهد العـالي مطلوب. وأن تلف العازل يحدث مع الجهد العالي. ولذا فإن التصميمـات الحديثـة تستخدم نوعية جيدة من العازل وطرق جيدة لإزالة الحرارة مـن خليـة الأوزون. حيث يستخدم الصلب المقاوم أو الخرسانة.

طريقة التلامس بين الماء والأوزون : (Contactor Configuration)

توجد أربعة طرق لتوفير التلامس المستعملة عادة. والشكل العام لهذه الطـرق هو استخدام حوض تلامس عميق لتوفير أكبر فرصة لإذابة الأوزون. وأقدم هـذه الأشكال هو نموذج (Otto) في الشكل (١٣٠) حيث يتـم سـحب غـاز الأوزون بواسطة شفاط في مدخل المياه المعالجة حيث يحمل المخلوط الي قاع حوض عميق حيث تتدفق المياه والغاز في اتجاه واحد. وعيوب هذه الطريقة هـو ان الشـفاط لا ينتج فقاعات صغيرة من جرعات الأوزون مع معدل تدفق المياه الداخلة. ونمـوذج آخر للتدفق الموازي للماء والأوزون كان اسـتخدامه لا يحقـق أقصـي تلامـس للأوزون مع الماء شكل (١٣١) والشكل (١٣٢) يوضح التدفق المعاكس وهو الشكل السائد الإستخدام الآن، حيث تستخدم أكثر من غرفة علي التوالي. وفي هذا الشـكل يستفاد بأكبر كمية من الأوزون. والشكل (١٣٣) حيث يستخدم التقليب يعتبر مناسب كذلك حيث يحقق أكبر انتقال لكمية الغاز وأقصي التصاق للفقاعات فـي معالجـة

المياه. وغرفة الخلط تصنع عادة من الصلب المقاوم للصدأ التخلص من الغاز الخارج من وحدة التلامس شكل (١٣٤): (Off Gas Disposal)

أحد مشاكل التصميم الرئيسية في نظام التلامس بالأوزون مع الماء هو التخلص من الغاز الخارج من وحدة التلامس والتي تشكل صعوبة في حلها. بفرض أن ملامسات الأوزون تستخدم من ٩٠ الي ١٠٠ من الأوزون المستخدم، فإن الهواء الخارج من الملامس قد يحتوي علي تركيز أوزون بنسبة مرتفعة تصل إلى ٠,١ من حجم الهواء وهذا يزيد عن مستوي ٠,٠٥ جزء في المليون وهو مستوي الرائحة لمحتوي الهواء من الأوزون، وكذلك يزيد عن المعدل القياسي ٠,١ جزء في المليون طبقا لمعايير الأمان من تركيز الغاز حسب مواصفات المنظمة العالمية (OSHA). ولذلك فإنه لا يمكن التخلص من الهواء المحتوي علي ٠,١% أوزون. وللتخلص من زيادة تركيز غاز الأوزون في الهواء تتبع خمسة طرق رئيسية:

* إعادة الحقن.
* التسخين لإحداث التحلل الآلي.
* الاختزال الكيماوي باستخدام عامل اختزال.
* الاختزال باستخدام عامل مساعد من أكسيد معدن.
* التخفيف.
* وبالنسبة للطريقة الأولي وهي إعادة الحقن فإنها تتطلب إنشاء برجين للتلامس حيث يضخ الأوزون الخام الي التدفق الهابط للمياه، ثم يعاد ضخ الغازات الخارجة وحقنها في حوض التدفق الصاعد. والهواء الخارج في هذه الحالة يحتوي نسبة أوزون حوالي ٠,٠٠١% أو ١٠ جزء في المليون فإن إعادة الحقن فقط لا يحل المشكلة - ولذا فإن إعادة الحقن يجب أن تستخدم مع أحد التقنيات الأخرى.

والطريقة الأخرى هي الاختزال الكيماوي للتخلص من الأوزون المتبقي في الهواء الخارج من الملامس ويتم ذلك بتمرير الهواء الخارج المحتوي علي بقايا الأوزون في تدفق معاكس مع عامل اختزال للأوزون في مدخنة مثل المستخدمة في التخلص من الأدخنة في العمليات الصناعية. ويتحكم في هذه الطريقة اختيار عامل

الاختزال الغير مكلف والذي لا يتأكد بأكسجين الهواء الجوي. وان كان العثور علي عامل الاختزال هذا لم يتحقق حتي الآن.

الأوزون يتحلل بسرعة عند التسخين. ولذا ففي بعض التصميمات يتم التسخين لدرجة حرارة ٢٥٠°م. وإن كان سلبيات هذه الطريقة هي كمية الحرارة اللازمة. وفي بعض التصميمات يتم تدوير الهواء الخارج بعد التسخين الي ٢٥٠°م لتسخين الهواء الداخل الي مدخنة التحلل. وهذا يقلل من الطاقة اللازمة ، ولكن يضيف في التكاليف الرأسمالية.

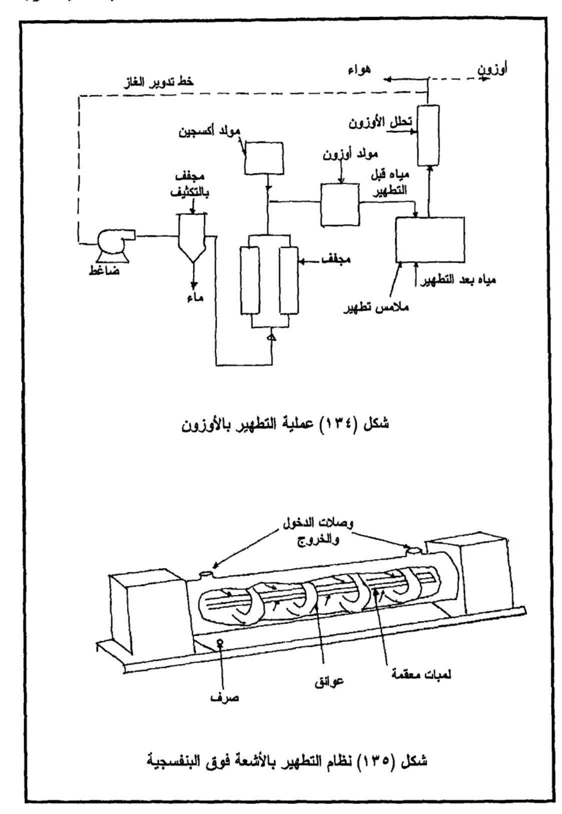
الاختزال باستخدام عامل مساعد حيث تمر الغازات علي سطح العامل المساعد الذي يعمل علي تحلل الأوزون الي الأكسجين. ومن بين هذه العوامل المساعدة أكسيد الحديد، وإن كان هناك مواد أخري كثيرة. ولكن في جميع الحالات يصعب تقييم هذه العوامل المساعدة والتي قد تتلف أو لا تصلح لفترة استخدام طويلة لتحلل الأوزون في الهواء. وهذه الطرق عموما واسعة الانتشار في أوروبا رغم عن مسالبها.التخفيف (Dilution) طريقة بسيطة جدا. حيث يتم خلط الهواء مع الغازات المخلوطة بالأوزون خلال برج به ركام (Stack) باستخدام مروحة ذات ضغط عالي وحجم قليل. وفي هذه الحالة يلزم أن يكون البرج الخاص بالخلط عالي بما فيه الكفاية.

مميزات استخدام الأوزون :

* التركيز المنخفض من الأوزون (٠,١ – ٠,٥ جزء في المليون) يقتل الكائنات المسببة للأمراض في أقل من ١٠ دقائق زمن مكث.
* الأوزون سريع في تفاعلاته عن الكلور ويعتبر أقوي مبيد للكائنات الدقيقة.
* الأوزون لا يتفاعل مع الكيماويات العضوية ليكون الترايها لوميثان ويمكن استخدامه بأمان كمؤكسد أولي.

عيوب الأوزون :

الأوزون مركب كيماوي غير مستقر يتحلل بسرعة ولا يوفر متبقي في الماء بعد حقنه حوالي ٢–٥ دقائق. الأوزون مكلف لارتفاع تكاليف إنتاجه مقارنه بالمطهرات الأخرى.



شكل (١٣٤) عملية التطهير بالأوزون

شكل (١٣٥) نظام التطهير بالأشعة فوق البنفسجية

القسم الثالث

مواد تطهير أخرى

وهذه تشمل :

١- برمنجنات البوتاسيوم:

برمنجنات البوتاسيوم مادة مؤكسدة وذات تأثير في القضاء على الطحالب وتستخدم في أكسدة الحديد المنجنيز وكبريتيد الهيدروجين وكذلك لتحسين المذاق والرائحة وذات أثر محدود كمطهر. وهي مادة مكلفة.

٢- اليود:

استخدم اليود كمطهر لمياه الشرب للوحدات العسكرية في المناطق المنعزلة وهو يسبب بقع وينتج عنه مذاق غير مستساغ. اليود يتفاعل مع المواد العضوية في الماء مكونا مادة الترايها لومثيان.

٣- كلوريد البروم:

يصنع كلوريد البروم من البروم والكلور ويعبا في اسطوانات مثل غاز الكلور. البروم مطهر جيد ولكنه شديد العدوانية علي المواد المعدنية ويسبب مذاق دوائي للماء. يستخدم أساساً في حمامات السباحة لكونه لا يسبب حساسية للعين مثل الكلور. ويكون الترايها لومثيان بتفاعله مع المواد العضوية.

٤-الأشعة فوق البنفسجية : (UV) شكل (١٣٥)

ضوء الأشعة فوق البنفسجية عند طول موجة ٢٥٠٠ وحدة أنجسترم مؤثر في القضاء علي البكتريا. تنتج الأشعة فوق البنفسجية من خلال لمبة زئبقية محكمة الغلق توضع موازية لتدفقات المياه بكثافة ضوئية حوالي ١٦٠٠٠ ميكرو وات ثانية علي السنتيمتر المربع عند طول موجة ٢٥٣٧ أنجسترم. العوامل التي تؤثر علي التطهير باستخدام الأشعة فوق البنفسجية هي كثافة الضوء وطول الموجة وزمن التعرض وعمق المياه المارة فوق اللمبة الزئبقية وكذلك لون وعكارة المياه وكمية ونوع المواد المذابة والعالقة والتي تؤثر بالسلب علي كفاءة التطهير.

جدول(١٥) تأثير المواد المؤكسدة فى معالجة المياه

المعالجة	الكلور	الكلورامين	الأوزون	ثانى أكسيد الكلور	برمنجنات البوتاسيوم	الأكسجين
إزالة الحديد	مؤثر	غير مؤثر	مؤثر	مؤثر	مؤثر	مؤثر
ازالة المنجنيز عند رقم هيدروجينى اكبر من ٧	مؤثر قليلا	غير مؤثر	مؤثر	مؤثر	مؤثر	غير مؤثر
الكبريتيد	مؤثر	غير مؤثر	مؤثر قليلا	مؤثر قليلا	مؤثر قليلا	مؤثر مع كسح الهواء
إزالة المذاق والرائحة	مؤثر قليلا	غير مؤثر	مؤثر	مؤثر	مؤثر قليلا	مؤثر قليلا
اللون	مؤثر	غير مؤثر	مؤثر	مؤثر	مؤثر قليلا	غير مؤثر
مساعدات الترويب	مؤثر	غير مؤثر	مؤثر	غيرمعروف	مؤثر قليلا	غير مؤثر
الترايها لوميتان	غير مؤثر	غير مؤثر	مؤثر	مؤثر	مؤثر قليلا	غير مؤثر
المواد العضوية المخلفة	مؤثر قليلا	غير مؤثر	مؤثر قليلا	مؤثر قليلا	مؤثر قليلا	غير مؤثر
النمو البيولوجى	مؤثر	مؤثر قليلا	غير مؤثر عدا فى حالة الحقن على مرحلتين	مؤثر	مؤثر قليلا	غير مؤثر

جدول (١٦) معامل القضاء على بعض الكائنات الدقيقة باستخدام بعض المطهرات

المطهر	بكتريا معوية	فيروسات	الجراثيم	حويصلات الأمبيا
الأوزون (O_3)	٥٠٠	٥	٢	٠,٥
ثانى أكسيد الكلور (CLO_2)	١٠	١,٥	٠,٦	٠,١
حامض الهيبدكلورس(HOCl)	٢٠	١	٠,٠٥	٠,٠٥
أيون الأكسيكلوريد (OCl)	٠,٢	٠,٠٢	٠,٠٠٠٥	٠,٠٠٠٥
مونوكلورامين (NH_2 CL)	٠,١	٠,٠٠٥	٠,٠٠١	٠,٠٢

٥-إضافة الفلور الى الماء: Water Flouridation

يضاف الفلور الى مياه الشرب طبقا لمعايير علمية وطبية. الفلور موجود بنسب مختلفة فى التربة، المياه، النباتات، الحيوان، وفى الأطعمة. أقصى تركيز فى الثدييات يكون فى العظام والأسنان.

فائدة الفلور للأسنان عند خلطة فى مياه الشرب.

عند شرب المياه المحتوية على الفلور فإن ٥٠% من الفلور يتسرب الى عظام الفك والأسنان والباقى (٥٠%) توجه الى المعدة ثم الى جدار المعدة ثم الى مجرى الدم حيث ينتشر فى الجسم حيث يزداد تركيزه مع تقدم السن. ونظرا لأن الفلور يعتبر الباحث عن العظام ولذلك فإن كلا من العظام والأسنان تجذب الفلور وتحتفظ به. أما الأنسجة الأخرى لا تحتفظ بالفلور، يترسب فى العظام ما يزيد عن ٩٦% من الفلور فى الجسم ويكون امتصاص الاسنان للفلور سريعا فى مرحلة تكوين ونمو الاطفال ولهذا يفضل شرب المياه المحتوية على الفلور بالنسبة للأطفال قبل تكوين الاسنان المستديمة.

مستويات الفلور المرتفعة فى مياه لها مردود صحي سيئ. الفلور يجعل الاسنان مقاومة للأحماض البكترية بالإضافة الى أن الفلور يساعد على بناء الميناء.

يوصى بتركيز الفلور فى مياه الشرب بتركيز من ٠,٧ – ١ مليجرام /لتر بالنسبة لتلاميذ المدارس يكون التركيز أربع اضعاف ليكون من ٣,٢ –٤ مليجرام / لتر ويضاف الفلور أما فى شكل فلوريد الصوديوم (Soduim Floride) حيث ٨,٦

كيلو جرام من فلوريد الصوديوم توفر ١ مليجرام / لتر لعدد ٣,٨ مليون لتر من المياه .فى حالة إضافة الفلور من مادة صوديوم سيلكون فلوريد (Soduim Silicon Floride) حيث ٦,٣ كيلوجرام تضيف ١ مليجرام /لتر لعدد ٣,٨ مليون لتر من المياه وفى حالة استخدام حامض الهيدروفلورسيسك (Hydro Flousilicic) بتركيز ٢٣% فإنه لتوفير ١مليجرام /لتر لعدد٣,٨ مليون لتر ماء سيتطلب إضافة ٢٠,٨ كيلوجرام حامض. وقد يستعاض عن إضافة الفلور للماء باستخدام الأقراص او النقط للتحكم فى النسب المضافة طبقا لدرجات الحرارة او الحالة العمرية.

جدول (١٧) المزايا والعيوب العامة لمؤكسدات معالجة المياه

المؤكسد	المميزات	العيوب
الكلور	مؤكسد قوي سهل الاستخدام يوفر كلور متبقي استخدم منذ زمن بعيد	منتجات مكلورة يتأثر بالرقم الهيدروجيني يمكن ان يسبب مذاق ورائحة فى وجود الفينول
الكلورامين	لا يكون الترايها لوميثان يوفر كلورامين متبقي سهل الاستخدام	مؤكسد ضعيف يتأثر بالرقم الهيدروجين يمكن ان يسبب مذاق ورائحة وبعض السميات
الأوزون	مؤكسد قوي لأترابها لومثيان ولا مواد سامة لا مشاكل للمذاق أو الرائحة، بعض نواتج ألا كسده قابلة للتحلل البيولوجى يتاثر قليلا بالرقم الهيدروجينى، مساعد للترويب	استمرارة محدود يتم انتاجه فى المواقع يتطلب طاقة بعض نواتج الاكسده قابلة للتحلل البيولوجى عدواني معقد فى الانتاج والتغذية مكلف
ثاني اكسيد الكلور	مؤكسد قوي يوفر متبقى نسبيا لا يكون تراي هالوميثان لا يتأثر بالرقم الهيدروجيني	يكون مواد سامة ينتج ثانوي من CLO_3 ينتج فى الواقع يمكن وجود رائحة من الهيدروكاربونات
برمنجنات البوتاسيم	سهل التغذية لا منتجات جانبية غير سام	مؤكسد ضعيف يسبب تأكل وترسياب

الباب السابع

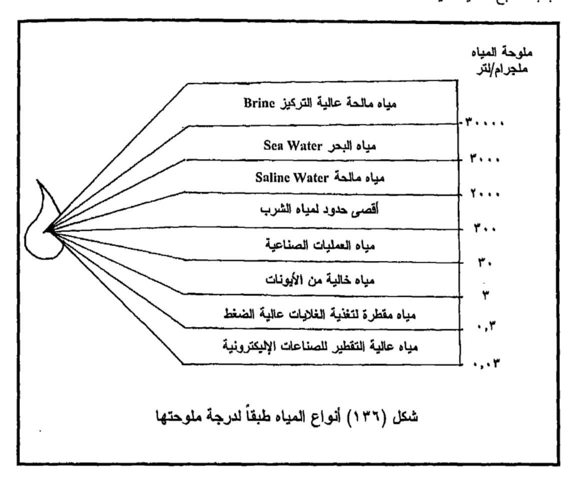
تحلية المياه المالحة

القسم الأول

تعـاريف

١- تحلية المياه بعمليات الغشاء: (Membrane Processes)

إن زيادة معدلات الاستخدام للمياه من المصادر السطحية العزبة مع محدوديه هذه الموارد وكذلك تسرب المياه المالحة إلى المياه الجوفية بالإضافة إلى تلوث المياه بالمواد العضوية المعقدة. لهذه الأسباب كان اللجؤ إلى استخدام تكنولوجيا الغشاء المتقدمة والذى وفر نوعية ممتازة من مياه الشرب أكثر صلاحية من نظم المعالجة التقليدية وذلك بمعالجة المياه المالحة أو الملوثة. شكل (١٣٦) يوضح تسمية أنواع المياه طبقا لدرجة ملوحتها. وقد كان التطور في عمليات الأغشية لخفض التكاليف الرأسمالية والصيانة والتشغيل بما جعل عمليات الأغشية منافسة لعمليات المعالجة التقليدية.



شكل (١٣٦) أنواع المياه طبقاً لدرجة ملوحتها

*** أنواع عمليات الأغشية :- (Types Of Membrane Processes)**

توجد أنواع معينة من الأغشية ذات الفتحات المختلفة كما في الشكل (١٣٧) والتي توضح العلاقة بين فتحات الغشاء وحجم الميكروميتري للمواد ووزنها الجزيئ. وفي الشكل (١٣٨) مجال المعالجة بالأغشية ذات العلاقة بالملوحة أو بالأملاح الكلية المذابة. وعمليات الأغشية تشمل فصل الأملاح المذابة باستخدام الغشاء بعده طرق وهي التناضح العكسي (Reverse Osmosis) والأليكتروديالسيس (Electrodialysis). والترشيح بأنواعه المختلفة.

أ- التناضح العكسي : (Reverse Osmosis - RO)

وهي عملية ضغط للمحلول الملحي مقابل غشاء شبه نفاذ، حيث تدفع المياه النقية خلال الغشاء وتترك كل الأيونات (الأملاح). الضغط يزيد عن الضغط الأسموزي للمحلول الملحي.

ب- الأليكترودياليسيس : (Electrodialysis - ED)

هي عملية تنتقل فيها الأيونات خلال الأغشية من محلول أقل تركيز إلى المحلول أكثر تركيزا. تدفق المياه يكون ملامسا لسطح الغشاء بينما تدفق الأيونات يكون عمودي على الغشاء. عملية الأليكترودياليسيس العكسية. EDR (Electrodialysis Reversal) هي عملية تحليل كهربي حيث يتغير نوع القطب طبقا لدورة زمنية وبذلك يتغير إتجاه الأيونات في الأغشية.

٣- أنواع الترشيح :

أ- الترشيح الفائق (Ultrafilteration UF)

الترشيح الفائق هو عملية تتم بالضغط لتركيز المحاليل أو تقطيرها (Fractionating) وذلك للمحاليل المحتوية علي مواد هلامية (Colloids) ومواد ذات وزن جزئ عالي. الترشيح العالي بحجز المواد الغير متأنية (Non Ionic) وعموما يمرر المواد المتأنية حسب قدرة الحجز للوزن الجزيئ للغشاء. (Membrane -MWC- Molecular Weight Cut Off A The Membrane – MWC). وقدرة الحجز للغشاء هذه توصف بالوزن الجزئ الذي يتم حجز ما زاد عنه. ويعتبر الوزن الجزئ كدليل تقريبي لحجم الجزئ. يقوم صناع الأغشية بتوصيف نسبة الحجز لمحلول معين مع معرفة الوزن الجزئ للمواد المذابة. وتتوقف نسبة

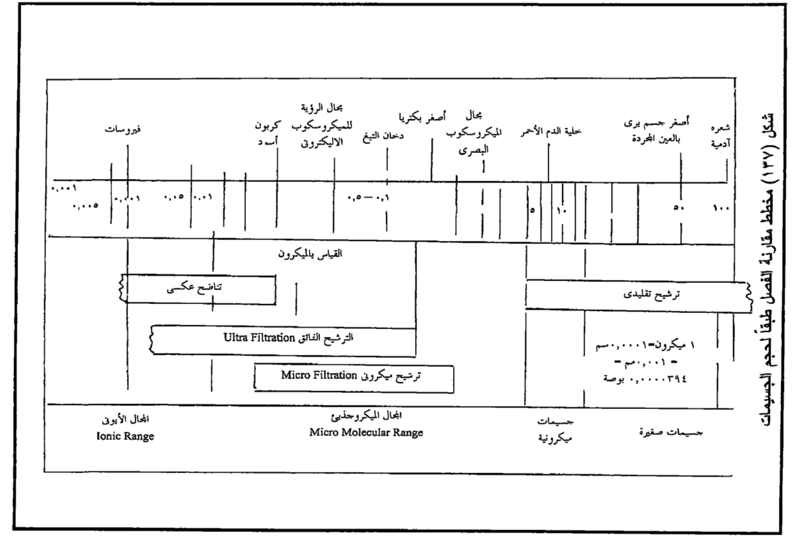
الحجز ليست فقط علي الوزن الجزئ ولكن كذلك علـــي حجـم الجـزئ وشـكله وشحنته.

ب- ألنا نو فلتر : (Nano Filteration - NF)

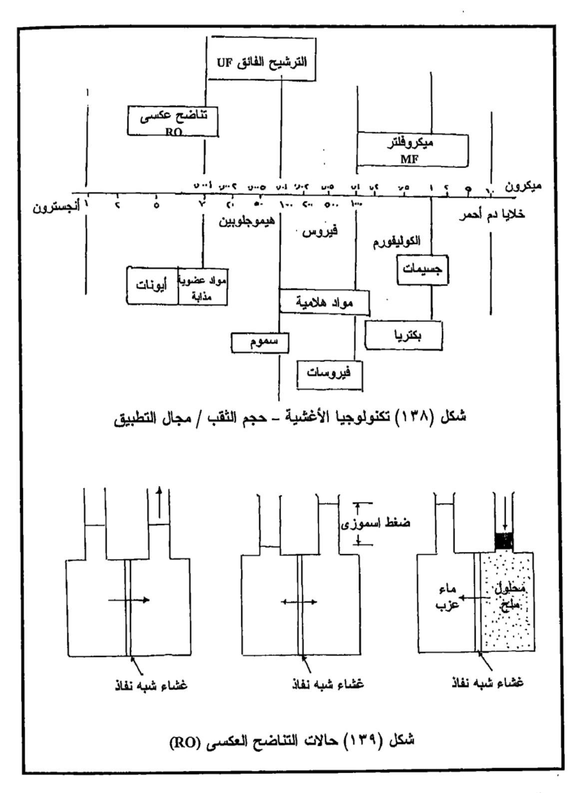
يسمي ألنا نو فلتر غشاء إزالة العسر (Membrane Softening). نانو تعنـي ١ علي ألف مليون أو ($١٠^{-٩}$) وتعني في هذه الحالة حجم الثقب للغشاء. النـــانوفلتر غشاء يعمل بضغط منخفض جدا ويمرر فقط الأجسام أصغر من واحد نانو مليمـتر (INM) ($A١٠^{\circ}$) وبذا تشبه إلى حد ما خصائص كلا من غشـاء الترشـيح الفـائق (UF) وغشاء التناضح العكسي (RO). يعمل غشاء النانوفلتر عموما عنـد مجـال وزن جزئ مرتفع أكثر من التناضح العكسي وبذا فإنـه لا يمـرر بنسـبة عاليـة الأيونات ثنائية التكافؤ مثل الكالسيوم والمغنيسيوم ولكن النانوفلتر يمرر الأيونـات أحادية التكافؤ بنسبة عالية عن الأيونات ثنائية التكافؤ.

جـ- الميكروفلتر :- (Micro Filteration)

وهو يمرر الأجسام ذات الحجم الميكرومتري $١٠^{-٦}$ مليمتر في محلول عـبر مادة الغشاء. الميكروفلتر يعمل علي ترويق المياه والسوائل الأخري وذلك بحجـز الأجسام العالقة والكائنات الدقيقة علي سطح الغشاء أو داخل المرشح بينمـا يمـرر المواد المذابة والماء.



شكل (١٣٧) مخطط مقارنة الفصل طبقاً لحجم الجسيمات



شكل (١٣٨) تكنولوجيا الأغشية - حجم الثقب / مجال التطبيق

شكل (١٣٩) حالات التناضح العكسى (RO)

القسم الثاني

التناضح العكسي

(Reverse Osmosis - RO)

أشكال (١٣٩ - ١٤٢)

التناضح العكسي هو عملية الغشاء الذي يعمل كمرشح لجزيئات (Molecules) المواد المذابة، فهو يزيل حتى ٩٠% من كل الأملاح المذابة، حتي ٩٧% من كل المواد العضوية المذابة ويزيل أكثر من ٩٨% من المواد الهلاميه (Colloidal) والبيولوجية من الماء والتي تصل تركيزاتها من ٥٠ جزء في المليون حتى ٦٠٠٠٠ جزء في المليون.

١- نظرية التناضح العكسي :

الضغط الأسموزي هو الظاهرة التي تحدث أحيانا عند تدفق الماء (أو أي مذيب آخر) خلال غشاء شبه نفاذ، أي الغشاء الذي يسمح بمرور المذيب وليس المادة المذابة. المحاليل التي تفصل بمثل هذا الغشاء تميل إلى أن تتساوى في التركيز للجزيئات، وبهذا فإن الماء سوف يتدفق من المحلول الأقل تركيزا إلى المحلول الأكثر تركيزاً. حتي الوصول تقريبا إلى تركيزات متساوية. تدفق المياة خلال الغشاء يولد ضغط يسمي الضغط الأسموزي.

الضغط الأسموزي لمحلول يزداد بتركيب المحلول. الشـكل (١٣٩) يوضـح العلاقة الأسموزية لثلاث أنيه كل مجهز بغشاء شبة نفاذ كما في الشكل. الإناء فـي اليسار يوضح النضح (Osmosis) الطبيعي الحدوث. الإناء الأوسط يوضح التعـادل الأسموزي أما الإناء علي اليمين فإنه يوضح الضغط الأسموزي العكسي (RO).

ويمكن التعبير عن تدفق الماء خلال الغشاء الشبة نفاذ بالمعادلة :

$$Fw = A(\Delta P - \Delta\pi)$$

حيث Fw= تدفق الماء جرام / سم٢ في الثانية

A = معامل نفازية الماء (ثابت) جرام/سم٢/ثانية عند الضغط الجوي

ΔP = الفرق في الضغط المسلط عبر الغشاء (جوي)

$\Delta\pi$ = الفرق في الضغط الأسموزي المسلط عبر الغشاء (جوي)

يقدر تدفق الملح المذاب (المادة المذابة) خلال الغشاء الشـبه منفـذ بالمعادلـة الآتية:

$$Fs = B(C_1 - C_2)$$

حيث Fs = تدفق المادة المذابة جرام / سم٢ في الثانية.

B = نفازية المادة المذابة في الغشاء سم / ث.

$C_1 - C_2$ = الاختلاف في التركيز عبر الغشاء جرام / سم٢.

تدفق المياه خلال الغشاء يتوقف علي الضغط المستخدم. فمع زيـادة الضغـط علي المياة الداخلة أكثر من الضغط الأسموزي للمحلول، فإن تدفق الميـاة خـلال الغشاء يزداد. تدفق الملح يظل أساسا ثابت وان كان يتناسب مـع الاختـلاف فـي التركيز. ولهذا تزداد كميات المياة المنتجة مع زيادة الضغط المستخدم. ويقل معـدل تدفق المياة مع زيادة ملوحة المياة الداخلة نظرا لزيادة الضغط الأسموزي.

تتوقف نوعية المياه المنتجة علي نسبة الحجز للملح المذاب

الملح المحجوز = ١٠٠ – الملح المار خلال الغشاء.

$$= \frac{\text{تركيز المياه الداخلة – تركيز المياة المعالجة (المنتجة)}}{\text{تركيز المياه الداخلة}} \times ١٠٠$$

معدل الحجز هو النسبة بين تركيز المواد المذابة في المياة الداخلة إلى تركيزها في المياة المنتجة. ويختلف حجز المواد المذابة طبقا للغشاء المستخدم، تركيز المياة الداخلة، التكافؤ الكيميائي للأيونات وعوامل أخرى. فمثلاً الزرنيخ ثلاثي التكافؤ بحجز نسبة (بمعدل) أقل من الزرنيخ خماسي التكافؤ.

مثال رقم (١)

مياه خام ملوحتها ٢٥٠٠ مليجرام / لتر أملاح كلية مذابة. المياة المنتجة بعد المعالجة ملوحتها ٨٥ جزء في المليون. ما هي نسبة الحجز للأملاح. ونسبة الأملاح المارة خلال الغشاء.

الحل :

$$\text{نسبة الحجز للأملاح} = \frac{\text{تركيز المياه الخام – تركيز المياه المعالجة}}{\text{تركيز المياه الخام}} \times ١٠٠$$

$$= \frac{٢٥٠٠ - ٨٥}{٢٥٠٠} \times ١٠٠ = ٩٦,٦\%$$

نسبة الأملاح الغير محتجزة = ١٠٠ – نسبة الأملاح المحتجزة

= ١٠٠ – ٩٦ , ٦ = ٣,٤%

كلما زاد معدل الإنتاج يعني زيادة إنتاج المياه من المياه الخام الداخلة ويتوقف زيادة معدل الإنتاج علي نوعية المياه ومدي تشبع الغشاء بالرواسب مثل كبريتات الكالسيوم وكبريتات الأسترنشيوم وكبريتات الباريوم في المحلول المشبع.

مثـــال (٢)

المياه الداخلة ٢,٥ مليون لتر في اليوم بنظام التناضح العكسي أنتجت ٢ مليـــون لتر في اليوم ما هي نسبة الإنتاج ؟

$$\text{معدل الإنتاج} = \frac{\text{معدل المياه الخام} - \text{معدل المياه المحجوزة}}{\text{معدل المياه الخام}}$$

المياه المحجوزة (شديدة الملوحة) = ٢,٥ – ٢ = ٠,٥ مليون لتر / اليوم

$$\therefore \text{معدل الإنتاج} = \frac{٢,٥ - ٠,٥}{٢,٥} = \frac{٢}{٢,٥} = ٨٠\%$$

٣- مـواد الأغشـية المسـتخدمة فـي التنـاضح العكسـي: (Membrane Material)

تصنع الأغشية من مواد مختلفة مثل أسيتات السليلوز (Cellulose Acetate – CA) وثنائي أسيتات السليلوز (Cellulose diacetate – CDA) وثلاثـــي أســـتيات السيليلوز (Cellose Tri Acetate- CTA) والبولي أميد (Poly Amide – PA) ومـــواد أخري (Aromatic Polyamide) وقد يستخدم غشاء رقيق من مواد مركبـــة (Thin Film Composite Membrane – TFC) بالنسبة لكيمياء أسيتات السليلوز (CA) كلما زاد المحتوي من مادة الأسيتيل (Acetyl) كلما زاد حجز الأملاح وقل تدفق الميـــاه. واغشية السليلوز عموما أقل سعرا ويمكن إن تقاوم الكلور لأقل من ١ مليجـــرام / لتر في المياه المعالجة مقيم ككلور حر. ولكن هذا الغشاء له سلبياته فهو معـــرض للتحلل البيولوجي وكذلك معرض للتحلل الكيماوي بالتفاعل مع الماء مكون السليلوز وحامض الأستيك (الخليك) وهذا التغير يحدث بسرعة عنـــد الرقـــم الـــهيدروجيني المنخفض جدا أو المرتفع، ويزداد هنا التحلل مع زيادة درجة حرارة المياه الخام أو الرقم الهيدروجيني لهذه المياه خارج الحدود من ٥ إلـــي ٦ ولـــهذا تتـــم المعالجـــة المسبقة بالحامض لجعل المياه الخام عند هذا الرقم الهيدروجيني ٥ إلي ٦.

البولي أميد او الأغشية من المواد المركبة (TFC) معرضة للتحلل في حالة وجود الكلور أو أي مؤكسد آخر إلا أنها تقاوم التحلل البيولوجي وهذه الأغشية تعمل بكفاءة عند رقم هيدروجيني ٤ إلي ١١.

أحيانا يتغير أداء الغشاء وكفاءته بسبب الانضغاط (Compactness) والترسيبات (Fouling) والملوثات. وانضغاث الغشاء يسبب احيانا خفض في التدفق. ويزداد الانضغاط للغشاء مع زيادة الضغط للمياه الخام وكذلك مع زيادة درجة حرارتها. معظم الانضغاط يحدث عادة في السنة الأولي من التشغيل وهو متغير (Irreversible). الأغشية المتاحة تجاريا تعمل في حدود درجة حرارة من ٢١ -٣٥°م. كلما كانت درجة حرارة التشغيل في نطاق هذه الحدود (٢١ -٣٥°م) كلما زاد معدل إنتاج المياه المعالجة. يحدث التلوث والترسيب علي الغشاء من وجود الترسيبات (Scales) والمواد الهلامية (Colloidal) والأكاسيد والسيليكات العضوية وبعض الملوثات في المياة الخام. وقد يلزم المعالجة المسبقة في بعض الحالات لحماية الغشاء من التلف وتلوث الغشاء ووجود ترسيبات عليه يمكن التعرف عليها من نقص الإنتاج وكذلك زيادة نسبة الأملاح المارة خلال الغشاء. وهذا المؤشر يوجب عمل إجراءات النظافة للغشاء.

٣- أشكال الأغشية : (Membrane Configuration)

توجد أربعة أشكال من تجهيزات الأغشية وهي الحلزونية، والأغشية الرقيقة الجوفاء (Hollowfine Fiber)، والغشاء الأسطواني (Tubular)، الأغشية في شكل ألواح محاطة بإطار (Plate And Frame) ومن بين هذه التجهيزات المستخدمة في تنقية المياه لأغراض الشرب هو تجهيزه الغشاء الحلزونية (Spiral)، الأغشية الرقيقة الجوفاء.

أ- الغشاء الحلزوني شكل رقم (١٤٠) :

يتكون من مسطحين مستويين من الأغشية مفصولين عن بعضهما بواسطة مسطح مثقب حامل (Support) وملحومين من ثلاثة أجناب لتكوين جيب. الجانب

الرابع ملتصق بمادة لاصقة وبه أنبوبة مجوفة من البلاستيك لتجميع الماء المعالج. يتم اللف (Rolled) الحلزوني لهذا الجيب أو السطح حول أنبوبة الماء المعالج شكل (١٤٠ – ب) مع أحاطه الجيب بغطاء خارجي (External Spaces) ليسمح بتدفق المياه الخام. تتدفق المياة الخام خلال الفراغات بين اللفات الحلزونية. تتسرب المياة خلال الغشاء ثم تتدفق من المحيط الداخلي داخل جيب الغشاء الي أنبوبة المياة المعالجة شكل (١٤٠ – حـ) يعد تجهيز الوحدة للمعالجة بالتناضح العكسي باستخدام حتى ستة وحدات محاطة بغطاء يتحمل الضغط (Pressure Vessel) ومركبة في صفوف والغطاء المستخدم يكون عادة من الفيبر جلاس.

الغشاء المستخدم في التناضح العكسي لتحلية المياة المالحة من ٣٠٠٠ حتى ٣٠٠٠٠ مليجرام / لتر يكون آستيات السليلوز أو البولي أميد أو من البولي أيثر بولي أميد بولى سلفون.

ب– الأغشية من الشعيرات الرقيقة الجوفاء : (Hollow Fine Fiber Module)

أقوي الأغشية المجهزة هو الغشاء من الشعيرات الرقيقة الجوفاء. الشعيرات سمكها قريبا من سمك الشعر الآدمي من مادة البولي أميد بينما المصنع من مادة السليلوز أسيتات لها ضعف السمك.

الشكل (١٤١ – أ) يوضع الغشاء (B 9 Membrane). الشعيرات كثيفة ورقيقة علي السطح بما يعيق تسرب الملح ويسمح بمرور الماء. وأسفل هذا السطح للشعيرة توجد طبقة مثقبة والتي تعمل كحامل لجلد الغشاء المانع لنفاذ الملح ولوجود الثقوب فإنها تسمح بمرور المياة الي تجريف الشعيرة. في عام ١٩٧٣ أنتج غشاء B – IO لتحلية مياه البحر وله قدرة علي تحمل الضغط وسمك جداره أكبر. القطر الخارجي له سمك ٩٥ ميكروميتر (95 Mm) والقطر الداخلي ٤٢ ميكرو متر. الشعيرة الجوفاء لها قدرة تحمل ذاتية وهى عبارة علي أسطوانة كثيفة الجدار. نظرا لأن النسبة بين القطر الخارجي إلى القطر الداخلي هي ٢ : ١ فإن هذه الشعيرات لها قدرة علي تحمل ضغوط التشغيل العالية بدون تلف. الشكل (١٤١ – ب) يبين

مبادئ التجهيز للشعيرات الجوفاء الأسموزية يشبه أحيانا المبادل الحـــراري الـــذي يعمل بالأنابيب. المياه الخام تتدفق خارج وحول الأنابيب. المياه المنتجة تدفع داخــل جدار الشعيرات بضغط التشغيل العالي، وتتدفق في الأنابيب الي الخـــارج والميـــاه المالحة المركزة تخرج من جانب الجدار الخارجي.

٤- التغذية بالمياه الخام في التحلية بالضغط الأسموزي : (Feed Water Supply)

المياه الجوفية هي المصدر المفضل لإزالة الملوحة بالضغط الأسموزي وذلــك نظرا لثباتها الكيماوي. وقد لوحظ أن من أسباب تلوث وتلف الأغشية هو ترسـيبات الحديد والأملاح الناتجة عن تآكل القيسون والطلمبة لآبار الميـــاه الجوفيـــة. هـــذا بالاضافة إلى أنه فى حالة تعرض المياه الجوفية للهواء الجـــوي يتأكسـد الحديـد المذاب في الماء وكذلك مركبات الكبريت بما يسبب تلف شـــديد للغشـــاء. ولـــهذا تستخدم مواد مقاومة للتآكل مثل الصلب المقاوم أو البلاستيك في إنتاج الميـــاه مـــن الآبار هذا بالإضافة إلى أحكام قفل البئر لعدم تسرب الهواء سواء استخدمت الطلمبة الجوفية أو السطحية.

ويعتبر من الأمور الهامة الدقة في اخذ العينات والتحليل للمياه، ويوصي بما لا يقل عن ثلاث تحليلات منفصلة لتأكيد دقة البيانات التصميمية. يشمل التحليل كـــل الملوثات وكل الأملاح المذابة في الماء. المياه من المصـــادر السـطحية تتطلـب معالجة إضافية مسبقه لمواجهة التغيرات الموسمية في مصدر المياه، بالإضافة إلـــى تأمين المجري المائي من الملوثات كما ان نوعية المياه المنتجه تتغير مـــع تغيـير نوعية المياه المعالجة. وكذلك يلزم ان تكون المهمات والمعدات والمواسير من مواد غير قابلة للصدأ.

المعالجة المسبقة :(Pretreatment)

تعتبر المعالجة المسبقة عامل مهم للمحافظة علي كفاءة واستمرار الأداء الجيد للغشاء. يلزم إزاله العكارة والمواد الصلبة العالقة من المياه الخام قبل وصولها الـــي

الغشاء. يستخدم جهاز مقياس العكارة أو جهاز التحكم وذلك لمراجعة المياه المعالجة بالنسبة للعكارة مع الإيقاف الآلي في حالة زيادة منسوب العكارة عن الحد المسموح به. المواد العالقة مثل الطين والطفلة والتي يمكن أن تعلق بالغشاء تسبب عدم تجانس توزيع المياه وإذا لم يكن هناك نظافة جيدة يحدث ترسيب وتراكمات علي الغشاء. وتقاس نوعية المياه المعالجة باستخدام مؤشر كثافة الطفلة (Slitdensity Index - SDI) هذا الاختبار أو اختبار التراكمات (Fouling Index) يلزم عمله من آن الي آخر علي إمدادات المياه المعالجة. اختبار مؤشر كثافة الطفلة يبين كميات الجسيمات والمواد الهلامية الموجودة في المياه المعالجة، كما أن هذا الاختبار للمياه المعالجة مسبقا يقدر مسبقا كمية المواد التى يمكن أن ترسب على الغشاء فى المياه. عموما فإن الغشاء الحلزونى يمكن ان يتحمل أقصي مؤشر كثافة الطفلة قيمته ٥ بينما أغشية الشعيرات الدقيقة تعمل في حدود أقل من ٣ أو ٤. يلزم دائما إضافة كيماويات لمنع الترسيبات. عادة يضاف حامض الكبريتيك بتركيز ٩٣% (Baumie ٦٦°) إلى المياه الداخلة للتحلية لمنع ترسيب كربونات الكالسيوم $Ca\ CO_3$ وكربونات الماغنسيوم ($Mg\ CO_3$) علي الأغشية. من خلال استعمال طريقة ضبط الرقم الهيدروجيني فإن المياه المملحة (Brackish) يضاف لها الحامض حتى الحصول علي مؤشر لانجيلبير للتشبع لتدفقات المياه المالحة المركزة بعد المعالجة (Concentrate Stream).

يستخدم عموما ٢ مقياس للرقم الهيدروجيني (pH Sensors) أحدهما لمقياس الرقم الهيدروجيني للمياه الخام والأخر لقياس الرقم الهيدروجيني للمياه المعالجة. معدات تغذية الكيماويات بتنسيب معدل التغذية طبقا لتدفق المياه الخام. جهاز ضبط الرقم الهيدروجيني للمياه الخام يتم ضبطه لإعطاء الرقم الهيدروجيني لتدفقات المياه الداخلة. وكذلك يمكن لجهاز التحكم في الرقم الهيدروجيني إيقاف محطة المعالجة في حالة تجاوز حدود الرقم الهيدروجيني وذلك لأمكان حماية الغشاء من الترسيبات والتلف. تتم تغذية بالكيماويات قبل خرطوشة المرشح وقد تشمل خلاط علي الخط لتأكيد الخلط الجيد قبل وصول المياه الي الغشاء. يمكن كذلك منع ترسيبات كربونات الكالسيوم وكربونات الماغنسيوم بالتبادل الأيوني ولكن هذه الطريقة اكثر

تكلفة من ضبط الرقم الهيدروجيني باستخدام الحامض. مع توقف وحدة التحلية يتـم شطف (غسيل Flushed) الأغشية بتدفقات مياه خام حامضية أو بمياه محلاه غـير مكلورة لإزالة المياه عالية التركيز (Brine) نتيجة طول الالتصاق مـع الأغشـية. وفي حالة ترك المياه عالية التركيز ملاصقة للغشاء سيحدث ترسـيب. فـي حالـة توقف الوحدة لعـدة أيام يتم تطهير الأغشية أو تعقيمها بالملئ بمحلول مطهر مثـل الفورمالدهايد أو بايسلفيت صوديوم (Sodium – Metabisulfite) طريقة أخري هـي وضع الوحدة في الإحتياط بدون استخدام مطهرات مع التشغيل اليومي لمدة لا تقـل عن ٣٠ دقيقة، عندئذ يتم مراقبة النمو البيولوجي عند استخدام هذه الطريقة.

تـرسيب الكبريتات اكثر صعوبة في الحد منها عن ترسيب الكربونات. كـلا من كبريتات الكالسيوم والباريوم والأسترلشيوم يمكن ان تسبب مشاكل في أنظمـة معالجة المياه متوسطة الملوحة (Brackish) مع مراجعة الحسـابات لتـأكيد عـدم الزيادة عن حدود الإزابه. وعموما لا تعتبر الكبريتات مشكلة في تحلية مياه البحـر بالضغط الأسموزي ورغم هذا يلزم عمل الحسابات لعمل حدود الإزابه.

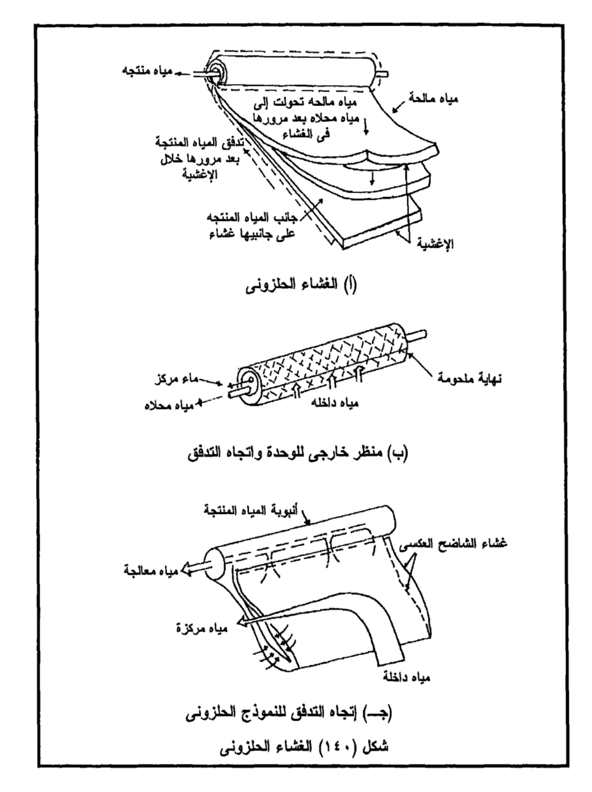
فقد استخدم مركب صوديـوم هكسـاميتا فوسـفيت (Sodium Hexa Meta Phosphate) (SHMP) كمادة تغلف (Sequestrant) للحد من ترسيبات الكبريتـات. ولقد استخدمت مادة SHMP للحد من ترسيبات الكبريتات عند ضعف مستوى التشبع للمياة المركزة (Concentrate). كلا من الباريوم والأسترنثيوم أقل في الإذابة مـن كبريتات الكالسيوم. يتم حقـن مادة SHMP في مجري التغذية بالمياه الخـام بعـد الحامض وقبل خرطوشة الترشيح. ويوصي كذلك بتجهيز الخلـط بخـلاط ثـابت لضمان حسن الخلط ويقدر معدل التغذية بـ ٥ – ١٠ مليجـرام / لـتر. وعيـوب مادة SHMP هي أن المادة تتحلل في الماء مكونة مادة الأورثوفوسفيت وهي مـادة غير مؤثرة في منع ترسيب الكبريتات ولهذا يلزم تحضير احتياجـات يـوم واحـد وخلطها قبل الاستخدام. حديثا استبدل استخدام مادة SHMP بمواد مانعة للترسـبات أو البلمرات عالية الكثافة (Long Chain Polymars) بديلا عن الحامض فان مـادة SHMP أو أحد المواد المانعة للترسيب (Antiscalants) يمكن أن تضاف الي الميـاه الخام (الداخلة) عندئذ فان مؤشر لانجلير للتشبع يمكن إن يرتفع حتى ١،٩. وهـذا

يقلل من الاحتياج إلى الحامض بدرجة كبيرة كما أنه مناسب لكل الأغشية من البولي أميد مع الحجز الجيد عند رقم هيدروجيني متعادل.

الأغشية من أسيتات السليلوز (CelluloseAcetate – CA) تظل تحتاج الي إضافة حامض لمنع التحلل. يعتبر الاختبار التجريبي لمواد التغليف كملحق لاختبار العملية نظرا لأن بعض المواد يمكن إن تعمل بكفاءة مع نوعية معينة من المياه.

تعتبر خرطوشة الترشيح ضرورية لكل من المياه السطحية والجوفية. ويستخدم عادة المرشح ذو الثقوب ٥ مليميكرون (5 Mm) في وحدات الضغط الأسموزي. ويتم تغيير المرشح عندما يكون الفرق في الضغط عبر المرشح حوالي ١٥ رطل / البوصة المربعة وذلك بواسطة أجهزة قياس الضغط عبر المرشح التي تركب علي مدخل ومخرج المرشح. ويكون غطاء المرشح من الصلب المقاوم أو الفيبر جلاس. المحتوي من المواد العضوية والكائنات الدقيقة يلزم تقديره مسبقا. وهذه الملوثات احتمالاتها في المياه السطحية اكثر منه في المياه الجوفية. والمواد العضوية الغير مذابة في الماء يمكن أن تؤثر علي كفاءة الغشاء. التناضح العكسي يمكن إن يعمل علي مياه تحتوي علي ٢٠ مليجرام / لتر كربون عضوي (Organic Carbon). البكتريا والطحالب يمكن إن تسبب ترسيبات وتلوث للمياه المنتجة وكذلك التحلل البيولوجي للغشاء. يمكن استخدام الكلور مع الأغشية التي تتحمل استخدامه للقضاء علي البكتريا والطحالب. بعض الأغشية لا تتحمل مادة الكلور المتبقي مما يتطلب استخدام المبيدات للقضاء علي البكتريا والطحالب. بعد التخلص من الملوثات يمكن معالجة الغشاء بمادة مبيدات حشرية ثم باستخدام منظف صناعي. المياه السطحية قد تحتاج الي مروب أو بوليمر كاتأيوني قبل الترشيح للتخلص من المواد الهلامية (Colloidal). كلا من كبريتات الألومينوم وبعض البلمرات الآن إيونية مثال للإضافة الكيماوية التي قد تسبب التلف ولهذا لا يتم استخدامها. المحتوي من الألومنيوم اكثر من ٠,١ مليجرام / لتر ($AsAL^{+++}$) يمكن إن يسبب مشكلة لنظام المعالجة بالتناضح العكسي.

كلا من الزيوت والشحوم يمكن أن تؤثر علي كفاءة الغشاء بتكوين طبقة علي سطح الغشاء بما يؤثر علي نوعية الحجز.

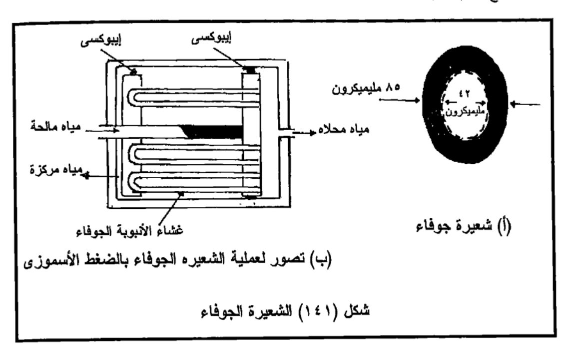


(أ) الغشاء الحلزونى

(ب) منظر خارجى للوحدة واتجاه التدفق

(جـ) إتجاه التدفق للنموذج الحلزونى

شكل (١٤٠) الغشاء الحلزونى



شكل (١٤١) الشعيرة الجوفاء

٥ – مجموعات وصفوف الأغشية: (Membrane Blocks and Arrays)

تتكون وحدة المعالجة بالضغط الأسموزي من مجموعات كل مجموعة من عدة وحدات في صف، كل وحدة مماثلة للأخرى وذات طاقة مناسبة طبقا للتصميم. في حالة الرغبة في زيادة طاقة محطة المعالجة يمكن تنفيذ ذلك بسهولة. كما يمكن إيقاف مجموعة للنظافة أو التعديل. المجموعة يتم تنظيفها مرة واحدة وهي تتكون إما من وحدة واحدة أو اكثر. وتتوقف المراحل أو عدد المجموعات على معدل المعالجة (Recovery Rate) والذي يتوقف بالتالي على نوعية المياه الخام. يمكن تحقيق نسبة معالجة ٥٥% للمياه المملحة (Brackish) في مرحلة واحدة. أما المرحلتين فتحقق نسبة ٧٥ – ٨٠% والثلاث مراحل من ٨٥ – ٩٠% في هذا النظام شكل (١٤٢). في النظام متعدد المراحل فإن المرحلة الأولي تكون المياه عالية التركيز المنتجة منها هي المياه الخام للمرحلة الثانية والمياه العالية التركيز من المرحلة الثانية هي المياه الخام للمرحلة الثالثة، وهذا للإستفادة من الضغط المتبقي في المياه المركزة. عند معرفة البيانات التفصيلية لنوعية المياه، وعدد

المراحل والوحدات في كل مرحلة ومعدل المعالجة ونوعية المياه المنتجة يمكن بسهولة عمل التصميم لمحطة المعالجة بالضغط الأسموزي كما تصمم المحطة مع مراعاة كفاءة الغشاء طبقا لعمره الافتراضي. والعمر الافتراضي التصميمي للغشاء والذي يتراوح ما بين ٣ – ٥ سنوات حيث يحدث بعد ذلك انضغاط تام للغشاء. يحدد الضغط للمياه الداخلة عند التصميم.

أ – الأجهزة المستخدمة : (Instrumentation)

يلزم توفير المطلوب من أجهزة التحكم لتأكيد سلامة التشغيل وعدم التلف للغشاء المستخدم. وهذه الأجهزة تعمل علي توقف المحطة في حالة زيادة ضغط الطلمبة، وضعف ضغط السحب (Low Suction Pressure) وزيادة ملوحة المياه المعالجة (زيادة التوصيل الكهربي) وزيادة أونقص معدل التدفق وزيادة الملوحة للمياه المنتجة وضعف تدفق مزيلات الترسيب بالإضافة إلى عوامل أخري.

ب – نظام المعالجة النهائية : (Post Treatment Systems)

يلزم إزالة الغازات المذابة مثل ثاني أكسيد الكربون وكبرتيد الهيدروجين. خفض ثاني أكسيد الكربون يعمل علي رفع الرقم الهيدروجيني للمياه المنتجة وإزالة كبريتيد الهيدروجين يعمل علي إزالة الرائحة الكريهة. يلزم ضبط الرقم الهيدروجيني للمياه المنتجة باستخدام الصودا الكاوية أو الجير، يضاف الكلور للتطهير. نظرا لإزالة كل المواد العضوية من المياه المنتجة فان الكلور المطلوب يكون قليلا وعادة فان الكلور المضاف يكون كلور حر متبقي.

جـ- إستعادة الطاقة : (Energy Recovery)

لقد كانت استعادة الطاقة تعتبر اقتصادية لمعالجة (تحلية) مياه البحر فقط والآن أصبحت مناسبة كذلك للمياة المملحة (Brackish) حيث استخدمت في المحطات ذات الضغط المنخفض وذلك باستخدام طلمبة غاطسة من الصلب المقاوم والمحرك يدور في الإتجاه المضاد. والحركة العكسية للتربين توضع في خط الصرف المضغوط

(Pressurized brine). مـــع تدفق المياه عالية التركيز تـــدور التربينـــة الغاطســـة بالعكس وبالتالي تحرك المحرك بالعكس، وبذا تتولد طاقة كهربية. الطاقة المنتجـــة تعود إلى مصدر الطاقة الرئيسي للاستخدام في محطة التناضح العكسي.

د- النظافة وتجديد الغشاء :

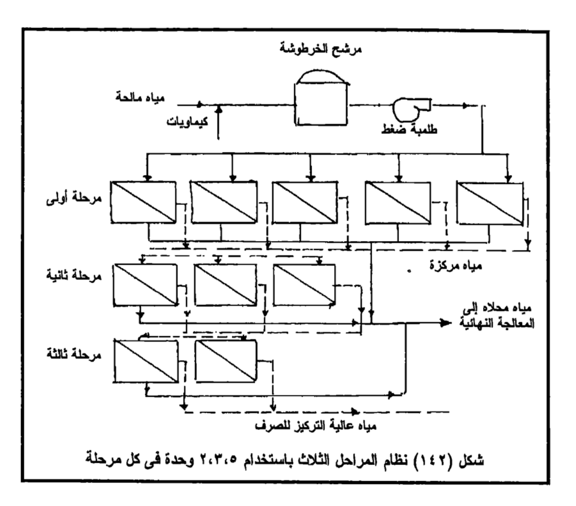
وحدة النظافة تعتبر مكملة لمحطة المعالجة. وتتكون وحدة النظافة من طلمبـــة من الصلب المقاوم توفر التدفق والضغط المطلوب، حوض من الفيبر جلاس أو من البولي إيثلين بسعة تخزين ثابتة، مرشح خرطوشة ١ - ٥ مليميكرون، مواسير غير قابلة للصدأ والتآكل وكذلك المحابس وخلاطة.

يلزم إن يكون العاملين علي وعي لظروف التشغيل حيث تعطي إشـــارة عنـــد الحاجة الي النظافة. ومن هذه الإشارات زيادة مرور الأمـــــلاح بنســبة ١٥ % أو أكثر، الانخفاض في الضغط بنسبة ٢٠% أو اكثر، تدفق المياه المحلاة يقل أو يزيـد بنسبة ٥%، تغير تدفق المياه المركزة بنسبة ٥% وكذلك وضوح الترسيبات. مـــواد النظافة عادة توصف بواسطة المنتج وذلك للنظافة الكيماوية أو البيولوجية. بعـــض الكيماويات المستخدمة في النظافة تشمل حامض التنيك (Tannic acid) بولي فينيـــل ميثيل أيثر (Ploy Vinyl Methyl Ether).

٦- إمكانيات المعالجة بالتناضح العكسي :

بالإضافة إلى تحلية مياه البحر والمياه قليلة الملوحة، فإن التنـــاضح العكســـي يستخدم في التخلص من المواد العضوية الطبيعية والمخلقة المذابة في الماء. وكلمـــا انخفض الوزن الجزيئي كلما زادت إمكانية الحجز. ويزال كذلك كلا من البكتريـــا والفيروسات. وكذلك نسبة الإزالة عالية بالنسبة للمعادن الثقيلة والأمـــلاح المذابـــة الأخرى. وكذلك يمكن التناضح العكسي من إزالة المواد المشـــعة (Radionuclide). والأستخدام الرئيسى للتناضح العكسى هو إنتاج المياه للإغراض الطبيه ولأغـــراض الترطيب ولانتاج البخار فى عمليات كى الملابس بالبخار. هـــذا بالاضافـــة الـــى،

استخدامها فى انتاج مياه الشرب وذلك بعد زيادة ملوحـــة الميـــاه المعالجـــة طبقـــا للمعايير المقررة.



شكل (١٤٢) نظام المراحل الثلاث باستخدام ٢،٣،٥ وحدة فى كل مرحلة

القسم الثالث

الفصل الكيميائي الكهربي أو الأليكتروديالييسيس
(Electrodialysis – ED)

أشكال من (١٤٣– ١٤٧)

الأليكتروديالييسيس هي عملية فصل كهر وكيميائية حيث تنتقل الأيونات الـــــي أغشية أن أيونية وأغشية كاتأيونية من محلول أقل تركيز الي محلول اكثر تركـــيزا نتيجة لتدفق التيار كهربي ثابت. والفصل الكهربي الكيميائي العكسى (EDR) هـــو عملية يتم فيها تغيير اتجاه حركة الأيونات في الأتجاة العكسي. وتستخدم طرق ED / EDR في معالجة المياه المملحة لتكون صالحة للشرب أو لإزالة الأملاح أو تركيز المحاليل بهدف إعادة الإستخدام. وسيتم التعبير عـــن الفصـــل الكـــهروكيميائي أو الأليكتروديالييسيس بالرمز (ED) وعن الأليكتروديالييسيس العكسي بالرمز (EDR).

١– حركة الأيونات: (Ion Transport)

لتفهم ED فانه يلزم تفهم اثر التيار الثابت علي محلول أيوني. بفرض حـــوض مستطيل مزود بقطب عند كل جانب. الحوض مملوء بمحلول كلوريـــد الصوديـــوم شكل (١٤٣) عند مرور تيار ثابت عبر القطبين، فإن الكاتأيونات Na^+ تنجذب نحو القطب السالب والذي يسمي الكاثود، بينما الآن أيونات ´CL تنجذب نحـــو القطـــب الموجب والذي يسمي الأنود. وعند الكاثود يحدث تفاعل الاختزال التـــالي لأيـــون الهيدروجين نتيجة تحلل المياه.

$$2\,H_2O + 2\,e' \longrightarrow 2OH^- + H_2\uparrow$$

وعند الأنود يحدث تفاعل الأكسدة التالي لأيون الأيدروكسيد

$$2\,H_2O \longrightarrow 4\,H^+ + O_2\uparrow + 4e'$$

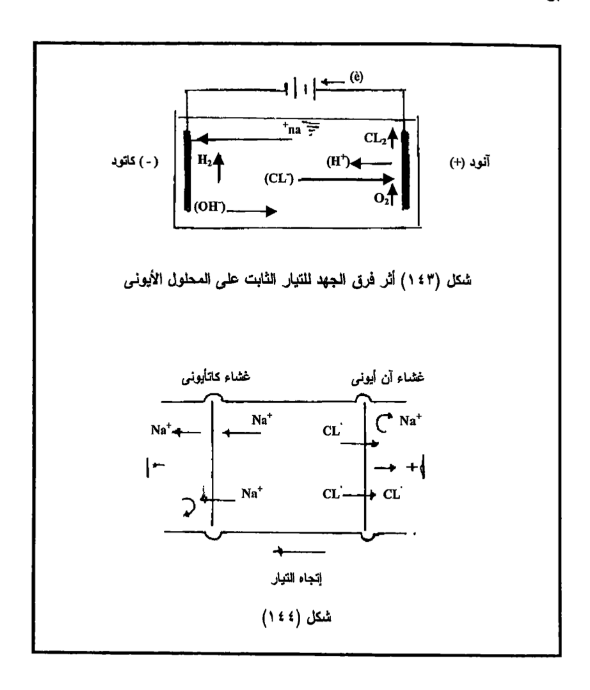
وقد يحدث عند الأنود كذلك تفاعل يشمل تكوين غاز الكلور

$$2CL' \longrightarrow CL_2\uparrow + 2e'$$

أغشية ED هي أساسا راتنجات في شكل رقائق (مسطحة) كاتأيونية أو أيونية أو غير أيونية. ولهذا تسمي غشاء كاتأيونى أو غشاء آن أيوني. وفي عمل مصفوفة ED شكل (١٤٣) فان الأيونات المذابة والغشاء الكاتأيوني والآن ايوني ومجال التيار الكهربي الثابت تعمل مع بعضها لإزالة الأملاح أو الأيونات في الماء وكذلك تعمل علي تركيز الأيونات المزالة فى مجرى المياه المركزة. فى مصفوفة الأغشية فإن المياه المحتويه على الأيونات المذابه يتم ضخها بين الغشاء الكاتأيوني والآن ايوني وذلك خلال مجري من البولي ايثلين.

الأيونات السالبة تمر خلال الغشاء الآن أيوني بينما الأيونات الموجبة تحتجز. وعلي العكس الأيونات الموجبة تمر خلال الغشاء الكاتأيوني بينما الأيونات السالبة تحتجز. وهذه الأيونات المارة خلال الأغشية الآن أيونية والكاتأيونية تجمع في غرفة التجميع وتكون المحلول الملحي المركز. أغشية ED هي أغشية موصلة للكهرباء وهي غير منفذه للمياة تحت الضغط. وعند تمرير تيار كهربي ثابت في هذه المصفوفة فان كل الكاتأيونات تتحرك نحو القطب السالب. وفي حالة مقابلة الكاتأيونات للغشاء الأول عندئذ فان الكاتأيونات تمر إذا كان هذا الغشاء كاتأيوني فان الأيونات تمر الي غرفة المياه التالية، تاركة خلفها خلية تخفيف أو مزالة كاتأيوناتها. وعلي العكس في حالة مقابلة الكاتأيونات للغشاء الأول ويكون غشاء آن

أيوني، فإن هذا الأيون لا يمر بل ويحتجز في مكانه حيث تصبح هذه غرفة تركـيز كما في الشكل (١٤٣) الآن أيونات تمارس الحركة في الأتجاة المضاد حيث تجـذب بواسطة القطب الموجب.



شكل (١٤٣) أثر فرق الجهد للتيار الثابت على المحلول الأيونى

شكل (١٤٤)

٣ – المصفوفة : (The Stack)

في الشكل رقم (١٤٤) الأيونات تترك الغرفة الوسطي خلال الغشـــائين ويتـم إزالة الأملاح من المياه، بينما الغرف الخارجية يزاد تركيزها بالأيونات. في الشكل (١٤٥) فان هذه الفكرة تم امتدادها لتكوين أغشية متبادلة من الكاتأيون والآن أيـــون، كل بنفس التيار الثابت المار خلالها بالتالي بتكرار نفس النظـــام المبسـط الشـكل (١٤٤). في الشكل (١٤٥) فان الغرف الثانية والرابعة والسادسة (من اليسار) تزال ملوحتها بينما الغرف الأولي والثالثة والخامسة والسابعة تـــزداد ملوحتـــها. تجـــهز المصفوفة بنظام صرف لكل من هذه الغرف المتماثلة مع بعضها. وهذه المصفوفـــة في الواقع تتكون من عدد من الوحدات المكررة والتي تسمي الخليـــة المزدوجـــة. المصفوفة الواحدة تحتوي عادة علي ١٠٠ إلـــي ٦٠٠ خليـــة مزدوجـــة والخليـــة المزدوجة بين القطبين تكون كهربيا علي التوالي ولهذا تحمل نفس التيار الكهربي.

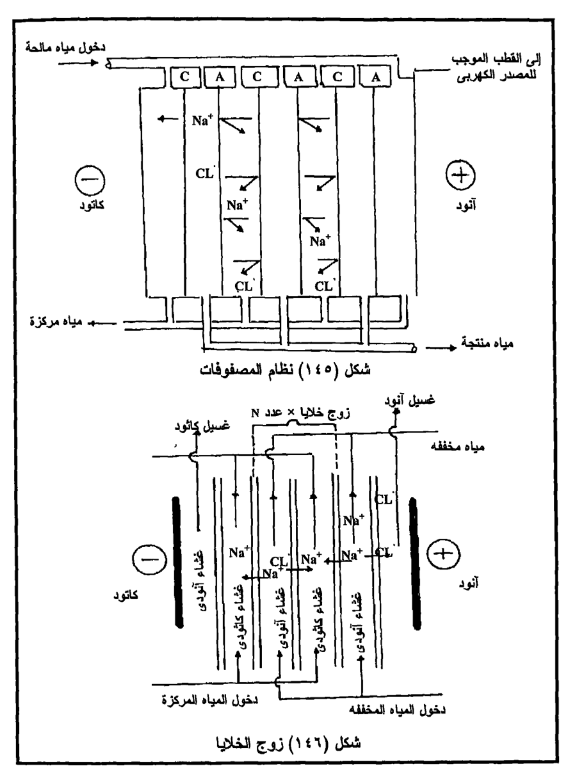
الشكل (١٤٦) يبين بالتفصيل الخلية المزدوجة (Cell Pair) وهي تتكون كهربيا من أربع مقاومات علي التوالي، حيث مقاومة الأغشية الرقيقة والموصلة صغـــيرة نسبيا. خلية التركيز (Concentrate Cell) محتوياتها عادة جزء من تدوير التدفـــق، فبالتدوير يحدث خفض للصرف وكذلك لزيادة التوصيل الكهربي للصرف وكذلـــك تنخفض المقاومة الكهربية لخلية التركيز الي مستوي منخفض نسبيا. خلية التخفيـف أو إزالة الملوحة (Desalting Cell – Dilute Cell) تحتوي علي مياه ذات ملوحة مـــا بين المياه الداخلة والمياه المنتجة، والتي تقل بالتدريج مع إزالة الأملاح الموصلـــة من المياه المالحة. وعملية الخفض المتدرج للتوصيل (زيادة المقاومة) هي العـــامل الحاسم في نقاء المياه المنتجة. نظريا التيار يمكن أن يمر خلال المياه حتى إزالـــة كل الأملاح المذابة (Electrolytes) (ولكن كمية الطاقة الكهربية اللازمة لاســتمرار هذه العملية مع خفض الأليكتروليت كبيرة). عمليا تنقية المياه بطريقة ED ينتـــهي عندما يكون الأملاح الكلية المذابة TDS للميـــاه المعالجـــة (المخفضـــة – Dilute) مكافئ لحوالي ٥٠٠ جزء في المليون مقيم ككلوريد صوديـــوم (NaCl). ونوعيـــة المياه هذه تمثل مياه الشرب طبقا لمعايير منظمة الصحة العالمية. وحاليـــا يـــزداد

استخدام (ED) في عملية المعالجة المسبقة للمياه قبل عملية التبادل الأيوني بما يقلل من احتياجات لأحماض والقلويات، حيث تقل الملوحة الي ٥٠ جزء في المليون قبل عملية التبادل الأيوني.

٣- تغير وتبديل الأقطاب: (Polarity Reversal)

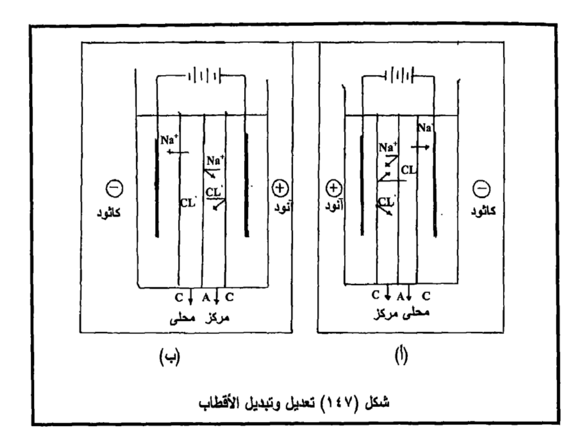
بدلا من ED التقليدي ذو الاتجاه الواحد، ففي الأليكيتروديا ليسيس العكسي (EDR- Eloctodialysis Reversal) فإنه يتم عكس الأقطاب طبقا لدورة زمنية محددة، وهي حوالي ١٥ - ٢٠ دقيقة. التغير في الشحنة الكهربية للقطب عبر منظومة الغشاء تغير في اتجاه الحركة. حيث يحدث تبادل لتدفق الأيونات وكذلك المياه المحلاة والمركزة. ويحدث تغير اتجاه التدفق آليا بواسطة المحابس التي تقفل كلا من مجري الدخول والخروج بحيث تتدفق المياه الداخلة إلى غرف الدخول الجديدة (البديلة) وكذلك المياه المركزة إلى غرفة التركيز الجديدة.

القطبية المعكوسة توفر الغسيل الآلي للمواد المكونة للترسيبات من علي سطح الغشاء. ولهذا فإن القطبية المعكوسة تتطلب معالجة مسبقة صغيرة وقد لا يحتاج لها ذلك لتقليل الترسيب الذي تحدثه المياه الداخلة شكل (١٤٧- أ، ب).



شكل (١٤٥) نظام المصفوفات

شكل (١٤٦) زوج الخلايا



شكل (١٤٧) تعديل وتبديل الأقطاب

٤- الاستقطاب: Polarization

كثافة التيار هي كمية التيار علي وحدة المساحة من سطح الغشاء. يمكن زيادة كثافة التيار حتى نفاذ كل الأيونات تقريبا القريبة من سطح الغشاء. عند الوصول الي هذا الحد فانه يتم الوصول الي تركيز الاستقطاب أو حدية كثافة التيار. وهذا الحد يتوقف كذلك علي درجة الحرارة، تدفق المياه، نوع الأيونات وتركيزها ونوع الغشاء. في ED كل الأيونات تنتقل خلال الغشاء بواسطة الانتقال الكهربي، والباقي يصل الي سطح الغشاء من تدفق المياه وانتشارها. تركيز الأيونات في خلية (غرفة) إزالة الملوحة يصبح غير موجود في الطبقة الرقيقة المجاورة لسطح الغشاء نظرا لانتقال الأيونات من الخلية خلال الغشاء وعند الاستقطاب فإن السائل عند سطح

الغشاء يكون خاليا من الأيونات تماما (Electrolyte) وبذا تحدث زيادة ملحوظة في المقاومة لخلية الغشاء. وهذه الزيادة في المقاومة مع كثافة التيار هي علامة الاستقطاب. عند هذه النقطة فإن الأيونات الناتجة عن تحلل الماء لها تركيز مساو للإليكتروليت عند سطح الغشاء. يحمل جزء من التيار الكهربي خلال الغشاء الآن أيوني بواسطة أيونات الأيدروكسيد الي جانب التركيز، بما ينتج عنه زيادة في الرقم الهيدروجيني وزيادة في ترسيب كربونات الكالسيوم. والتغير في الرقم الهيدروجيني للتدفقات يمكن إن يوضح متي يحدث الاستقطاب.

الاستقطاب يسبب مشاكل منها خفض كفاءة التيار، وزيادة استهلاك الطاقة، وخفض انتقال الأيونات المطلوبة في منطقة الاستقطاب. والقيمة الحدية أو النهائية للتيار (Limiting Current density) يمكن زيادتها بزيادة درجة الحرارة، وسرعة السائل أو تركيز المحلول. وأقصى قيمة حدية للتيار يمكن استخدامها تعادل ٧٠% من القيمة الحدية لنظم ED والذي يسمح بمعامل أمان مناسب.

تخفض الترسيبات في نظام ED بعمل الاضطراب المناسب (Turblence) في مجري المياه القريب من سطح الغشاء، أو بإضافة الكيماويات مثل الأحماض أو مزيل الرواسب (Antiscalant).EDR تزيل الترسيبات بدون الحاجة الي كيماويات.

هناك اعتبارات تصميميه بالنسبة لنظام ED يلزم مراعاتها وهي :

نسبة تركيز الأيونات يلزم إن تظل أقل من ١٥٠ : ١ (المياه المركزة مقابل المياه المحلاة) ويمكن أن تزداد هذه النسبة الي ٢٠٠ : ١ أو ٢٥٠ : ١.

عند استخدام EDR بدون إضافة كيماويات فإن المياه المركزة يجب إن تحتوي علي أقل من ٢٠٠% من تشبع كبريتات الكالسيوم. وعند إضافة الكيماويات إلى المحلول المركز (المياه المركزة) يمكن أن يكون تشبع كبريتات الكالسيوم حتى ٣٥٠ %. مؤشر لانجيلير للتشبع يجب إن يظل أقل من ٢,٢.

٥- خصائص الأغشية : (Membrane Properties)

كلا من الأغشية الآن أيونية والكاتأيونية لها مظهر سطح البلاستيك شبه شفاف المقوي بألياف من البلاستيك. والسطح ناعم وأملس والمسطح مستطيل كما أن له عدة أشكال (أحجام) كل الأغشية لها نفس السمك (٠,٥ مليمتر) معظم الأغشية الآن أيونية شبه شفافة بيضاء بدون أي لون ومختومة بكلمة (Anion). علي جانب الغشاء وخلاله تثبت الشحنة الموجبة في مرحلة التصنيع وهي عبارة عن أيونات الأمونيوم الرباعية والتي تصد الأيونات الموجبة وتسمح للأيونات السالبة بالمرور.

أغشية الكاتأيونات تختلف في اللون من البني الي الأبيض ومختومة بكلمة (CATION) وأثناء التصنيع تثبيت علي جانبي الغشاء وخلاله الشحنات السالبة التي تصد الأيونات السالبة وتسمح للأيونات الموجبة بالمرور خلالها.

وكلا من الأغشية الكاتأيونية والآن أيونية لهم خصائص واحدة فكليهما غير منفذ للمياه تحت الضغط، مقاوم للترسيبات، قدرة تحمل عالية، مقاوم للتغير في الرقم الهيدروجيني من ١١ إلي ١٠، شبة صلب، وله مقاومة كهربية منخفضة، ولا يذوب في المحاليل المائية، ويمكن أن يعمل في درجات أكثر من ٤٦ °م ومقاوم للانتفاخ الأسموزي.

استهلاك الطاقة الكهربية لضخ المياه الداخلة هو حوالي ٢,٥ كيلووات/ساعة لكل ١٠٠٠ جالون عند الضغط العادي للمحطة ٥ - ٦ جوي. الطاقة اللازمة للأغشية للمنظومة حوالي ٢ كيلو وات ساعة لكل ١٠٠٠ مليجرام / لتر من الأملاح المزالة. الطاقة اللازمة لنظم التحكم والسيطرة هي حوالي ٥% من إجمالي الطاقة.

٦- الاعتبارات التصميمية :

يتم التغذية بمياه المصدر إلى طلمبة التغذية بضغط ٠,٢ الي ٢ جوي. طلمبة التغذية تضخ المياه الي خرطوشة المرشح تحت ضغط ٥-٦ جوي (١٠ ميكروميتر) المياه المنتجة من (ED) لا تمر خلال الغشاء كما في حالات التناضح

العكسي (RO) أو الترشيح الفائق (UF) ولهذا يلزم الأخذ في الإعتبـــار فـــي نظـــم المعالجة المسبقة في حالة (EDR / ED) عدم وجود مواد عضوية أو مواد هلاميـــة أو كليهما في المياه المداخلة. المياه الداخلة تتطلب معالجة مسبقة عــادة إذا كــانت تحتوي علي كلور حر أكثر من ٠,٥ مليجرام / لتر، حديد أكثر من ٠,٣ مليجــرام / لتر، كبريتيد الهيدروجين أكثر من ٠,٣ مليجــرام / لــتر، عكــارة أكــثر مــن ٢ نيفيلومتري (2NU) أو منجنيز أكثر من ٠,١ مليجرام / لتر.

أقصي إزالة للأملاح هي من ٤٠ – ٥٠ % لكل مرحلة هيدروليكية. تســتخدم طريقة (ED / E DR) لمعالجة المياه المملحة (Brakish) لإعدادها للشــرب، كذلــك لإزالة الأملاح ولتنقية المواد الغذائية، ولإعادة استخدام مياه الصرف الصناعى.

القسم الرابع

الترشيح الفائق
(Ultra Filtration . U F)

١- الترشيح الفائق يعرف بعملية الفصل باستخدام أغشية شبه نفاذه (Semipermeable Membrane) لفصل جزيئات الأملاح (Macro Molecules) في المحلول. العامل الهام في حجز الجزيئات هو حجمها وشكلها. أغشية الترشيح الفائق لها فتحات أقل في الأحجام من أغشية التناضح العكسي وليس لها شكل محدد بل هي فتحات بين أنسجة البوليمر حيث يمكن حجز جزء صغير من المياه. أغشية الترشيح الفائق لا تحتجز المواد المذابة. مجال الوزن الجزئي للترشيح الفائق هو من ٠,٠٧. الي ٧ جوي باستخدام طلمبة الطرد المركزي.

تصنع أغشية الترشيح الفائق من أسيتات السليلوز (CA) أو الأكليرك وبعض البلمرات الأخرى مثل البولي فينيل كلوريد أو البولي آميدز. الخ وشكل الغشاء مشابه لغشاء التناضح العكسي (RO) ويشمل الأسطواني، اللوح والإطار، الحلزوني، الشعيرات الجوفاء.

استخدم الترشيح الفائق للمعالجة المسبقة لمياه البحر قبل التحلية بالتناضح العكسي لإزالة الكربون العضوي (TOC)، العكارة والمواد العالقة من مياه الصرف المعالجة قبل إعادة الإستخدام أو الحقن الجوفي. التناضح العكسي (RO) يزيل معظم المواد العضوية، البكتريا، الجسيمات من الماء وكذلك إزالة الملوثات الغير

عضوية بنسبة ٦٠ - ٩٩ % طبقا لنوعية الملوثات والغشاء المستخدم. أما E D R / E D فإنها تقلل الأملاح المذابة ولكنها تترك كل المواد الغير متأينة (Nonionic) في المياه المنتجة.

٢- النانو فلتر (Nano filteration - NF) وهى أغشية تستخدم لإزالة العسر، البكتريا والفيروسات، المواد العضوية ذات العلاقة باللون بدون إنتاج ملوثات عضوية مثل الهيدروكربونات المكلورة. وتستخدم هذه الطريقة في المياه ذات الأملاح المذابة المنخفضة لإزالة العسر والمواد العضوية.

القسم الخامس

التحلية الحرارية للمياه المالحة
Thermal Desalination

بالإضافة إلى طرق التحلية بإستخدام نظم الأغشية مثـــل عمليـــات التنـــاضح العكسى والإليكتروديااليسيس والترشيح الفائق فإنه أمكن استخدام الطاقة الحراريـــة لتحلية المياه المالحة وذلك بتحويلها إلى بخار الماء ثم تكيينفها أو بعمليات التجميـــع (Freezing) أو إنتاج البخار بفعل أشعة الشمس.

١- التحلية الحرارية بتحويل المياه المالحة إلى بخار الماء:
Desalination by Distillation

نظام التحلية المستخدم على نطاق واسع لتحويل المياه المالحة إلى مـــياه صالحـــة للشرب هو بالتقطير الحرارى. فى هذه العملية يتم غلى الماء المالحة للحصول على بخار المياه نقية وسائل متبقى به أملاح مركـــزه، حيـــث يتـــم تكثيـــف الأبخـــرة وإستخدامها لأغراض الشرب. ولتحقيق الإقتصاد فى الطاقة الحرارية المســـتخدمة يستخدم النظام متعدد التأثير (Multi Effect System)، حيث تدفع أبخرة الميـــاه النقيـــة المنتجة فى المرحلة الأولى لغلى الماء المالح بطريقة مناسبة إلى المرحلة الثانيـــة. فى هذه المرحلة الثانية عندما يتكثف بخار الماء عندئذ تنطلق الطاقة الحرارية التـــى تكفى لتحويل المياه المالحة إلى بخار ماء. وبإستخدام هذه العملية يمكن إنتاج رطـــل من المياه المحلاه باستخدام وحدة طاقة حرارية (IBTU/Ib of water).

عند إستخدام هذا النظام يجب أن يؤخذ فى الإعتبار القواعد التطبيقية التى تؤثر على الكفاءة، ومنها عملية الإنتقال الحرارى والتى تتوقف على مساحة الإنتقال الحرارى ومعامل الإنتقال الحرارى. معامل الإنتقال الحرارى يتوقف على الفرق فى درجات الحرارة بين السائل الباعث للحرارة والسائل الممتص للحرارة والشكل الهندسى ومساحة ونوع مادة الإنتقال الحرارى. لذلك فعند زيادة المساحة ورأو معامل الإنتقال الحرارى يزداد معدل الإنتقال الحرارى. ونظراً لأن زيادة المساحة تعنى زيادة فى حجم المعدات المستخدمة، لذلك يكون الهدف هو زيادة معامل الإنتقال الحرارى.

العامل الأخر هو التخلص من الملوثات فى مياه البحر والتى تؤثر على الإنتقال الحرارى. فمياه البحر مخلوط معقد من المواد المذابة الصلبة والغازات والكائنات البحرية. المواد الصلبة المذابة تشكل خطورة فى عملية التقطير نظراً لأن بعضها يرسب على سطح الإنتقال الحرارى (Scaling)، كما أن الكائنات البحرية يمكن أن تسبب عزل على أسطح الإنتقال الحرارية مكونة ترسيبات عضوية (Fouling). لهذا فإنه يلزم المعالجة المسبقة لمياه البحر فى حالة إستخدامها لإزالة وتحييد الأثر السلبى لهذه العوامل.

تستخدم التحلية الحرارية بتقطير المياه المالحة ذات الملوحة العالية ما بين ١٥٠٠٠ إلى ٥٠٠٠٠ جزء فى المليون.

الأنواع الرئيسية الثلاث لتبخير المياه المالحة ذات الملوحة ما بين ١٥٠٠٠ إلى ٥٠٠٠٠ جزء فى المليون (الملوحة العالية) هى:

المبخر السريع متعدد المراحل: Multistage Flash Evaporator (MSF): المبخر متعدد التأثير: Multiple Effect Evaporator (ME): المبخر بإعادة ضغط البخار: Vapour Recompression Evap (VR)

١- المبخر السريع متعدد المراحل : (Multistage Flash Evaporator) (M S F)

يوضح الشكل (١٤٨ – أ) مبادئ عمل المبخر السريع متعدد المراحل في إزالة الملوحة.

يتم ضخ مياه البحر خلال عدد متتالي من المبادلات الحرارية حيث تتدرج حرارتها في الارتفاع، بتكثيف البخار الناتج في غرف التبخر السريع المقابلة (Flash Chambers) إلى درجة حرارة ٨٠ – ١١٠°م. وبعد التسخين التالي الي درجة حرارة ٩٠ – ١٢٠°م بواسطة مصدر بخار خارجي، فإن مياه البحر تتحرر من الضغط (Flashed) بالتتالي خلال عدد من المراحل حيث ينخفض ضغط البخار بالتدريج الي ١٠ كيلو بار. يحدث غليان وتبخر جزئي في كل مرحلة، البخار الذي يتكثف علي المبادل الحراري المقابل والذي يتجمع في قنوات كمياه مقطرة، وهذا البخار يستمر إنتاجه في كل مرحلة بالتوازي مع المياه المالحة (Brine) وذلك حتى إنتاج كلا من المياه المقطرة والمياه المالحة من أخر مرحلة عند درجة حرارة حوالي ٤٠°م. تجهز غرف التبخير السريع لتخفيف الضغط(Vacuum) باستخدام باثق البخار (Steam Ejectors) للمحافظة علي استمرار الانخفاض المطلوب في الضغط خلال المبخر. المبخر السريع متعدد المراحل (MSF) يتطلب في تصميمه نسبة عالية من مياه البحر لكل وحدة من المياه المقطرة والتي قد تصل الي ٨ : ١٠. ولهذا السبب فان طاقة الضخ المطلوبة تكون كذلك عالية حيث تصل الي ٣–٥ كيلووات ساعه / متر المكعب من المياه المقطرة.

٢ – المبخر متعدد التأثير : {Multiple Effect Evaporator} (M E)

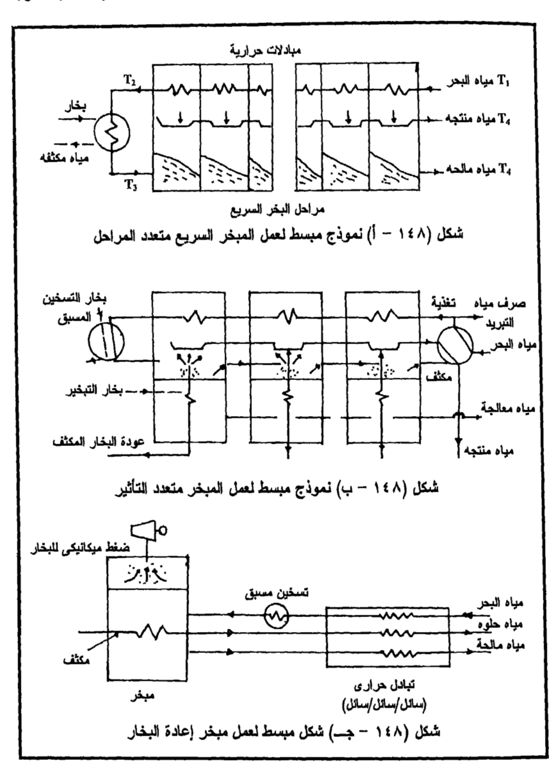
طريقة العمل للمبخر متعدد التأثير موضحة في الشكل (١٤٨ – ب) مياه البحر يتم تسخينها بالتدرج بطريقة المبادلات الحرارية بواسطة تكثيف البخار من عدد مساو من غرف التبخير. مياه البحر التي تم تسخينها تدخل غرف التبخير الأكثر سخونة عند درجة حرارة ما بين ٦٠ – ١٠٠°م عادة ثم تبخر جزئيا بواسطة بخار

من مصدر خارجي. البخار الناتج يمر الي المؤثر التالي بعد سحب البخار المكثف (المستخدم في التسخين المسبق). في نفس الوقت فان مياه البحر التي لم تتبخر من المؤثر الأول يدفع (Flashed) الي المؤثر الثاني، وينخفض درجة حرارته تحت تأثير مكثف التبريد بمياه البحر بعد المؤثر الأخير. يحدث تبخير أخر في المؤثر الثاني ما بين البخار الداخل والمياه المالحة المحررة من الضغط (Flashed Brine) ثم يكرر العمل في كل من المؤثرات التالية والتي يصل عددها الي ٢٠ أو أقل من ١٠، وذلك قبل تكثيف بخار أخر مؤثر وسحب المياه المالحة (المركزة).

طاقة الضخ اللازمة للمبخر المتعدد التأثير (ME) أصغر من تلك اللازمة لمتعدد المراحل (MSF) وهي عادة ما بين ٢ – ٣ كيلو وات سعة / المتر المكعب.

٣ – مبخر إعادة ضغط البخار: {Vapour Recompression Evap} (V R)

طريقة عمل مبخر إعادة الضغط (VR) موضحة في الشكل (١٥٠). يتم تسخين مياه البحر بالتبادل الحراري مع المياه المقطرة والمياه المالحة المركزة للصرف وذلك في واحد أو أكثر من المبادلات الحرارية الي درجة حرارة من ٦٠ الي ١٠٠°م. ولغرض البدء في التشغيل وللمحافظة علي ظروف التشغيل العادية تعد بعض المحطات بسخان لعمل التسخين المسبق للمياه وذلك للحصول علي درجة الغليان المطلوبة في المبخر، وفي ابسط صورة يكون هذا السخان ذو مرحلة التأثير الواحدة أو الأكثر من مرحلة (Single Effect Or More) البخار الناتج من المبخر يتم ضغطه أما ميكانيكيا أو بالضغط الحراري (Thermo Compression) وذلك قبل العودة الي التكثيف للبخار في المبادل الحراري. عملية الضغط تعمل علي رفع ضغط التشبع لبخار الماء، وهذا يوجد فرق في الحرارة مستمر بين المياه المكثفة والمياه المالحة (Brine) وهذا يعمل علي استمرار عملية التبخير. البخار المكثف (المقطر) والمياه المالحة الزائدة يتم صرفهم خلال مبادلات حرارية (سائل / سائل) ولا توجد حاجة الي مكثف منفصل.



شكل (١٤٨ – أ) نموذج مبسط لعمل المبخر السريع متعدد المراحل

شكل (١٤٨ – ب) نموذج مبسط لعمل المبخر متعدد التأثير

شكل (١٤٨ – جـ) شكل مبسط لعمل مبخر إعادة البخار

شكل (١٤٨) الأنواع الرئيسية لأجهزة التحلية بالتبخر

إزالة الترسيبات : (Scale Removal)

كل المياه المالحة تحتوي علي كل من العسر المؤقت والعسر المستديم وذلك لوجود أيونات الكالسيوم والماغنسيوم والبيكربونات والكبريتات.

عند تسخين مياه البحر، تتحلل البيكربونات وتتكون كربونات الكالسيوم كراسب (Scale) وهي عسر مؤقت علي أسطح التسخين. وفي حالة عدم إجراء منع ترسيبها فإن كفاءة الانتقال الحراري تنخفض، بما ينتج عنه خفض في إنتاج المياه المقطرة وفي الحالات الشديدة يمكن حجز تدفق المياه. أما الرواسب من كبريتات الكالسيوم (العسر المستديم) علي الجانب الأخر هي ببساطة نتيجة خفض الأزابة لكبريتات الكالسيوم ($CaSo_4$) بالحرارة. يمكن تجنب ترسيب كبريتات الكالسيوم العسر المستديم في التصميم والتشغيل بعدم تعدي حد الإزابة للأشكال المختلفة لبلورات كبريتات الكالسيوم (كبريتات الكالسيوم قليلة الذوبان في الماء في حدود ١-٢ مليجرام / لتر). أما عن ترسيب الكربونات فإنه يلزم إتخاز إجراءات إيجابية لمنع حدوثها أو علي الأقل خفض مستواها الي الحد الذي يمنع حدوث الترسيبات.

أ- ترسيبات كبريتات الكالسيوم : ($Ca\ SO_4$ Scales)

حدود الأزابة لكبريتات الكالسيوم هي دلالة لدرجة الحرارة والتركيز وذلك بالنسبة لمياه البحر ذات الملوحة القياسية (٣٥٠٠٠ مليجرام / لتر). فقد لوحظ أن مع تركيز مياه البحر عند درجة حرارة إنتاج البخار ١٠٠°م ويحدث تشبع للمياه المالحة بالنسبة لكبريتات الكالسيوم اللامائية ($CaSO_4$) وذلك عند زيادة الملوحة عن ٤٥٠٠٠. ملجرام / لتر. يمكن تجنب حالة التشبع هذه (Super Saturation) وهذا يتم عادة بالحد من تركيز المياه المركزة المالحة للصرف لتكون أقل من ٦٠٠٠٠ مليجرام / لتر (أملاح كلية مذابة) في حالة المبخر السريع متعدد المراحل (MSF) حيث يحدث تعدي لهذه النسبة نظرا لحالات تدوير المياه المالحة، ويتم الاعتماد علي بطئي ترسيب بلورات كربونات الكالسيوم في تجنب ترسيبها. كما يمكن البدء بإضافات لتجنب الترسيب مثل إضافة صوديوم هكسا ميتا فوسفيت Soduim Hexa

Meta Phosphate $Na_6 (PO_4)_5$ ولكن في معظم الحالات يمكن عدم اللجوء الي هـذه الإضافـات بالنسبة لترسيبات الكبريتات طالما أمكن التحكم في ظروف التبخر بمـا لا يتعدي حدود الإذابة. كبريتات الكالسيوم بمجرد تكوينها كترسيبات فانه يصعـب إزالتها من الناحية العملية.

ب- الترسيبات القلوية : Alkaline Scales

يمكن أن يرسب كلا من كربونات الكالسيوم وأيدروكسـيد المغنيسـيوم فـي مبخرات تحليـة ميـاه البحـر وترسـيب كربونـات الكالسـيوم نتيجـة تحلـل البيكربونـات (Decomposition) أما ترسيب أيدروكسيد المغنيسيوم فـهو نتيجـة تميوء (Hydrolysis) الكربونات

$$Ca(HCO_3)_2 \longrightarrow CaCO_3 + CO_2 + H_2O$$

$$Mg\,CO_3 + H_2o \longrightarrow Mg(OH)_2 + CO_2$$

إزالة الكربونات من المياه الداخلة (Decarbonation of Feed)

(١) في عملية إزالة الكربونات من المياه المالحة قبل التحلية :

في هذه العملية يتم حقن الحامض الي مياه البحر بالتركيز الذي يمكن من تحلل مالا يقل عن ٩٠% من البيكربونات الموجودة عادة في مياه البحر إلى حـد ١٤٠ - ١٥٠ ملجرام / لتر ويتم التخلص من ثاني أكسيد الكربون $2HCO_3 + H_2SO_4 \longrightarrow$ $2H_2O + CO_2 + SO_4$ في برج تهوية وقد تستخدم أحماض أخري مثـل حـامض الهيدروكلوريك وحامض السلفاميك (Sulphamic) أو حتى حامض النيتريك ولكـن يفضل حامض الكبريتيك لرخص سعره نسبيا. ولتفكك ٩٠% من البيكربونات فـي مياه البحر فإن جرعة حامض الكبريتيك اللازمة هى حوالي ١١٠ ملجرام / لتر من مياه البحر (مقيم ٩٨ % حامض الكبريتيك). يجب ملاحظة أن إضافة هذا الحامض سيعمل أولا علي خفض الرقم الهيدروجيني من ٨ إلي ٤,٥ - ٥، يلي ذلك ارتفـاع الرقم الهيدروجيني الي ٦,٥ مع التخلص من ثاني أكسيد الكربون. ولكن هناك اتجاه

نحو عدم استخدام حامض الكبريتيك للمحافظة علي مواد المبخرات من التآكل ولكن علي الجانب الآخر فان إزالة الكربونات هي الوسائل الإيجابيـــة الوحيـدة لتجنـب ترسيب القلويات.

(٢) المعالجات الأولية (Threshold Treatments)

البديل لإزالة الكربونات بواسطة الحامض هو الحقن بمثبط الترسـيبات (Scale Inhibitors) للمياه الداخلة للتحلية، عادة بتركيز من ٢ – ١٠ ملجرام / لتر وعمـل هذه المثبطات هي تشويه بلورات الكربونات الي درجة تكـون حمـأة لينـة فقـط (Soft Sludge) وذلك بدلا من الترسيبات الصلبة (Hard Scales) وهذه الحمأة اللينـة يتم صرفها مع مياه البحر المركزة. حتى عام ١٩٧٠ كان افضل مثبط في حالة مياه البحر هو صوديوم تراي بولي فوسفيت ($Na_5P_3O_{10}$) وكان يستخدم عـادة كحـق اختراع (Patented) محتويا علي اللجنبين ومـواد ضـد وجـود الرغـوة (Anti Foaming) وكان مثل هذه المركبات مادة (HA Gevap) لها حدود اسـتخدام حتـى ٩٠°م نظرا لتحللها الي الأورثوفوسفيت (Na_3Po_4). عند ارتفاع درجة عـن ٩٠°م. ثم تم تطوير إضافات أخري من البلمرات كمثبطات والتي تسمح بدرجـة حـرارة حتى ١١٠°م أو أكثر عند استخدامها. وهذه عادة بلمرات عضوية حامضيـة مثـل (Polymaleic Acid) وحاليا توجد أنواع كثيرة من المركبات منها (– Belgrade E V Ciba Geigy)، (Al BRIVAPDSB)، (Flocon247 من Pfizer) وهذه من أفضـل الأنواع. وعموما مهما كان نوع المثبط المستخدم، فإنه يلزم إزالة الترسـيبات مـن المبخر باستخدام جـرعة حامض مع مياه البحر علي الأقل مرة كل عام. وعـادة فإنه يستخدم الحامض والإضافة كمثبطات مع بعضهما.

٣- المعالجة النهائية للمياة المقطرة : (Distillate Post Treatment)

كل المياه المنتجة من عمليات التبخير تحتوي عادة علي ١٠-٥٠ مليجرام فـي اللتر من الأملاح المذابة كما إنها منخفضة العسر ومنخفضة الرقم الـهيدروجيني. ولهذا فإنها مياه عدوانية لمواد الإنشاء وبخاصة الخرسانة. وكذلك هي ليست مقبولة

كمياه الشرب. والغرض من المعالجة النهائية هو رفع الرقم الهيدروجيني إلـى ٧ – ٨، عسر الكالسيوم الي ١٠٠ مليجرام / لتر ككربونات كالسـيوم وكذلـك توفـير التهوية الكافية والمواد المذابة من كلوريد الصوديوم وكذلك التخلص مـن المـذاق الغير مقبول المرتبط بالمياه المقطرة. وتوجد وسائل مختلفة للحصول علـي الميـاه المناسبة للشرب. ولكن كلها تشمل إضافة أيونات الكالسـيوم والبيكربونـات. فـي المحطات الصغيرة حتي ٥٠٠م٣ في اليوم يكون مـن المقبـول إضافـة كلوريـد الكالسيوم وبيكربونات الصوديوم ولكن تكاليف الكيماويـات تكـون مرتفعـة فـي المحطات الكبيرة وفي هذه الحالة يمكن استخدام نوعين من المعالجة.

أ – الحقن بلبن الجير – ثاني أكسيد الكربون : ($Lime – CO_2$ Dosing)

وخلاصة المعالجة بهذه الطريقة كالأتى:

$$Ca(OH)_2 + 2CO_2 \longrightarrow Ca^{++} + 2HCO_3$$

يتم إذابة ثاني أكسيد الكربون تحت الضغط في المياه المقطرة، يخفض الرقـم الهيدروجيني (لتكوين حامض الكربونيك)، ثم يضاف مستحلب لبن الجير مع الخلـط حتى الوصول إلى العسر المطلوب. يرفع الرقم الهيدروجيني الي ٧ ولكـن يمكـن زيادته عن ذلك بإضافة الصودا الكاوية في حالة الرغبة في هذا. في حالـة عـدم إمكان الحصول علي ثاني أكسيد الكربـون مـن الإنتـاج الصنـاعي. (الغـازات الصناعية) فإنه ينتج عادة من حرق الزيوت (Hydrocarbon Oil) أو الغاز الطبيعي في مولد خاص ثم تنقية الغاز بالكيماويات.

ب– المعالجة بالجير – ثاني أكسيد الكربون :

(Limestone – Co2 Treatment)

في هذه العملية فان المياه المكربنة (Carbonated Water) تضخ خلال حبيبـات الحجر الجيري.

$$CaCO_3 + H_2O + CO_2 \longrightarrow Ca^{++} + 2HCO_3$$

وفي هذه العملية متطلبات ثاني أكسيد الكربون أقـــل مـــن الطريقـــة الســـابقة بالإضافة الي عدم إنتاج وضخ مستحلب لبن الجير. بعض البدائل تستخدم الحجـــر الجيري من نوع (Dolomotic Limestone)، حيث يضاف كلا من أيونات الكالسيوم والمغنيسيوم إلى المياه المقطرة. وقريبا ثم اللجوء علي طريقة لأستعادة ثاني أكسـيد الكربون الناتج من تحلل البيكربونات الموجودة في مياه البحر في مراحل درجـــات الحرارة المرتفعة لحقن الإضافات في المبخر السريع متعدد المراحل (MSF).

المعالجة النهائية لإعداد المياه المحلاه للشرب:

لإعداد المياه للشرب فان المياه التي تم ضبط عسرها ورقمها الهيدروجيني يتـم كلورتها. وفي بعض الحالات يتم إضافة كمية قليلة من مياه البحر المكلورة لزيـــارة تركيز كلوريد الصوديوم الي المستوي المفضل للاستهلاك.

التحلية بتحويل المياه إلى الجليد (تجميد) :

Desalination by Freezing

الحصول على المياه النقية من المياه المالحة باستخدام الحرارة يمكـــن كذلـك تحقيقه باستخدام التبريد وبالتحديد التجميد. تجميد المياه المالحة ينتج عنه بللـــورات نقية من الثلج من بين المحلول الملحى إزالة هذه البللورات الثلجية وإعادة زوبانـــها ينتج عنه مياه خالية من الأملاح. مقارنة باستخدام الحرارة فإن عملية التجمـد لـــها مميزاتها وعيوبها. من بين هذه المميزات هى الطاقة الحرارية الصغيرة المطلوبـة. الطاقة الحرارة اللازمة للإزابة (Latentheat of Fusion) تعادل ١/٧ مـــن الطاقـــة الحرارة اللازمة للبخر. كما يمكن من خفض التكلفة عند استخدام عملية التجمد فـــى درجة حرارة منخفضة. ولكن تكاليف الوحدات الحرارية فى التبريد أكبر كثـــيراً عـــن المستخدمة فى التنسيق، بما يتطلب رفع كفاءة العملية. توجد خاصيتين تتميز بـــهما

عملية التبـريد وهما الآثار التى تسببها ارتفاع درجة حرارة المياه المالحـة علـى مواد البناء مثل المعادن من الصلب أو الخرسانة مثل التآكل والتلف وهـذه الآثـار تنخفض بدرجة كبيرة فى حالة درجة حرارة التجمد. وهذا يخفـض مـن تكـاليف المواد المستخدمة فى الخزانات والمعدات. هذا بالإضافة إلى عـدم الحاجـة إلـى التوقف وذلك لعدم حدوث ترسيبات على أسطح التبادل الحرارى.

يعتبر التبادل الحرارى خلال الأسطح ذو أهمية خاصة فى عمليـات التحليـة المختلفة. تحقيق معامل إنتقال حرارى عالى مكلف فى عملية التبريد حتى التجمـد الأداء الأولـى للإنتقال الحرارى هو الإتصال المباشـر للسـوائل ذات درجـات الحرارة المختلفة. يتجه ذلك، فإن عملية التجمد تحقق معامل إنتقال حرارى عـالى، وبذلك تنخفض تكلفة التصميمات الهندسية اللازمة لزيادة معامل الانتقال الحرارى.

ولكن توجد سلبيات لعملية التجمد. يتم الحصول على المياه النقية فى شكل ثلج، وفصل بللورات الثلج النقى تتطلب خطوة منفصلة.

الطاقة الحرارية لتحويل المياه إلى بللورات (Latent Heat of crystalization) ثلجية يمكن استخدامها فى إزابة هذا الثلج. وهذا هو الجزء المقابل لحرارة التكثيـف فى عملية ضغط البخار المستخدم لتوفير الطاقة الحرارية للتبخير (تحول المياه إلـى بخار). كذلك نظام التجميد يحتاج إلى إنشاءات ضخمة لتكون متعددة المراحل ليمكن إعادة استخدام الطاقة الحرارية الكامنة (Latent Heat) التى أدخلت فى تغير حالـة الماء. ذلك لأن عملية التجميد يجب أن تتم عند درجة حرارة ثابتة. أحـد سـلبيات الهامة، خصائص التجمد هو التخلص من المياه المالحة.

تحسين أداء العملية لزيادة تطبيقاتها العملية يتطلب (١) زيادة حجـم بللـورات الثلج لتسهيل فصلها وخفض الادمصاص بالمياه المالحـة عنـد زيـادة المسـاحة السطحية، (٢) تحسين تداول بللورات الثلج (عموما بقطر ١مم)، (٣) زيادة معـدل التجمد. معظم هذه الاعتبارات مرتبطة بالعمليات المنفصلة (Patch Process).

مبادئ التحلية بالتجمد:

عملية الفصل لبلورات الثلج من المحلول الملحى الذى تعرض لعملية تجميد تتوقف على خصائص حالة الاتزان التى تشمل المجال السائل والمجال الصلب، نوعية هذا النظام موضحة فى مخطط المجال (Phase Diagram) شكل (١٤٩).

المادة A تمثل الماء، المادة B تمثل الملح. معظم الأملاح مثل كبريتات الصوديوم تكون (Eutectic) الحد الأدنى من الإزابة مع الماء. وهذه عموما تمثل حالات معينة من التميؤ. فى المخطط العام يكون هذا الحد الأدنى ممثل بالنقطة C. لأغراض إزالة الملوحة يؤخذ فى الاعتبار الجزء من المخطط على اليسار، المنطقة ما بين ١٠٠% مياه نقية (A) والحد الأدنى (C) تمثل بعضٍ من الإتحاد بين الملح والماء. عند أى مكونات كما فى الحالة X ما بين الماء النقى A، C عند درجة حرارة t، خفض درجة الحرارة إلى t^1 سيسبب إنفصال المحلول الملحى إلى مادتين وهما مركب نقى A (الثلج) زائد محلول ملحى ظهور الثلج يمثل ظاهرة التجمد للمياه النقية، طبقا لقانون الرافعة فإن الكميات النسبية للثلج والمحلول الملحى الناتج عن التجمد إلى درجة حرارة t^n تمثل بمقلوب بأطوال الخطوط من النقطة X^n إلى خط التغيير فى المجال AC، من النقطة X^n إلى الخط الذى يمثل ١٠٠% ماء (A). إذا كانت درجة حرارة المحلول الملحى ذات مكونات X وانخفضت درجة حرارتها إلى t^2 عندئذ وطبقاً لقانون الرافعة، عند النقطة X^2 كمية أكبر من الثلج (مركب ١٠٠% ماء (A) يكون أكثر) يمكن إنتاجه. وهذا يبين الخبرة المعروفة أن إنخفاض درجة الحرارة ينتج تجمد (ثلج) أكثر.

إستخدام المبردات: The Use of Refrigernts

يمكن استخدام الهيدروكربونات المسيلة Liquified Hydrocarbonates كمبردات بالإتصال المباشر مع المحلول الملحى. درجات حرارتها المنخفضة تساعد فى تجمد المحلول الملحى. مثال لهذه المواد هو (n. butane). إزابته فى المياه المالحة ضعيف ودرجة غليانه عند الضغط الجوى هى تقريبا عند درجة تجمدْ مياه البحر.

ولذلك عند تبخرها، فإنها تساعد فى زيادة تبريد المياه المالحة الجارى معالجتها. لها ميزة إضافية وهى السعر المنخفض، عند إستعراض الكميات الفاقدة أثناء التجمـــد، ولهذا لاتضيف كثيرا لتكلفة المياه المنتجة. فى نظام الألتصاق المباشر يتـــم خلـط البينوتين المثلج مع مياه البحر. يحدث تبادل حـــرارى، تتجمـــد الميـــاه، ويســخن الهيدروكربون. يزال البينوتين كبخار يخفض الضغط على إنـــاء الخلـط. حـرارة تحويل المياه إلى بلورات التى تنطلق عند تكون الثلج تساعد فى تبخـــير البيوتيـــن ولتحقيق كفاءة العملية بهدف زيادة تأثير التجميد بفعل تبخر البيوتين يستخدم مـــاء البحر الذى سبق تبريده (Prechilled). تزال بللورات الثلج المتكونة من مســـتحلب الثلج. الماء المالح فى عامود الفصل لفصل الثلج بتدفقات الغسيل العكسية Counter Current شكل (١٥٠-أ). المحلول الملحى الذى أمتز على سطح بلورات الثلج يزال بالغسيل باستخدام مياه نقية. عندئذ تزال بلورات الثلج فى مكثف الإزابـــة (Melter Condenser) بتحولها إلى مستحلب مع المياه النقية. فى المذيـــب (Melter) بخـــار النيوتين عند مقابلته بلورات الثلج التى تذوب يصبح بارد (Chilled) نظرا لأن الثلج يمتص منه الحرارة اللازمة للإزابة. هذه المحافظة على تـــأثيرات التـــبريد تعتـــبر ظاهرة أساسية نحو إقتصاديات الجدوى للعملية. يستفاد كذلك بالمحلول الملحى الذى تم فصله من بلورات الثلج حيث يتم فى المبادل الحرارى حيـــث الميـــاه المالحـــة المبردة تقوم بتبريد مياه البحر المعدة للتجميد بواسطة البيوتين السائل.

للحصول على نمو بللورات الثلج مع تجنب الكميات الكبيرة مـــن البللـــورات الصغيرة، يتم العناية بالتصميم والتشكيل لوحدة التجميد. يقسم المجمد (Freezer) إلى أربع حجرات بواسطة بطاريات مثقبة. هذه التقسيمات تسمح بالتدفق البطئ لبلورات الثلج والمحلول الملحى لتتجه نحو جهاز فصل الثلج (Ice Decanter)، مـــع خفـــض التدفق المعاكس وعدم التعرف على إتجاه التسرب فى غيبة هذه الحواجز. الحواجـز المثقبة تمتد فقط فوق منسوب السائل بجزء صغير فى جهاز التجميد. وهذا يمكـــن طبقة البيوتين السائل تخطى الأربع غرف والتدفق فى الإتجـــاه المعـــاكس لحركـــة مخلوط الثلج والمحلول الملحى عند تحركه نحو جهاز الفصل (Decanter).

طبيعى عند التدفق المعاكس يتبخر جزء من البيونتين. وهذا يخفض درجة حرارة المتبقى من المبرد، ومع تقدم التبخر ستزال فى المقابل الحرارة طبقاً لمتطلبات حرارة التبخر. هذا الموقف يجب العمل على تجنبه حيث سيزيد من تجمد المحلول الملحى فى إتجاه معاكس للتدفق. فى حالة حدوث ذلك ستكون هناك كميات كبيرة من البللورات الحبيبية فى منطقة دخول المياه المغذية لجهاز التجميد، وهذا عكس الموقف المطلوب. المطلوب هو الزيادة المضطردة فى معدل التبريد للمحلول الملحى مع تدفقه ببطئ نحو جهاز فصل الثلج مع نمو البللورات وزيادة كمية الثلج، فإن المحلول الملحى المتبقى سيزداد بإضطراد محتواه من الملح المذاب، الخلية القريبة من جهاز الفصل ستصبح الأكثر تركيزا وبالتالى تكون لها أدنى درجة تجمد بالتالى وبهدف تجنب حالات التبريد الزائد للمبرد (البيوتن) عند لقائه الأول مع المحلول الملحى الذى يدخل إلى المجمد (Freezer)، فإن درجة غليان (البيوتين) ترتفع باضطراد عند تدفقاته فى الإتجاه المعاكس. يحدث هذا بالإضافة القليلة بجزء من النفط (Naphta – النافتا) إلى البيوتين. مع تدفق البيوتين من خلية إلى أخرى (فوق تقسيمات الخلية المثقبة) يزداد إضافتها بالنافتا أكثر وأكثر حتى آخر خلية ولكنها الأولى التى يدخل إلها المحلول الملحى. هذا الإرتفاع المضطرد فى درجة الغليان مادة التبريد يساعد فى المقابل على خفض درجة حرارتها فى التبريد مع أن عملية التبخير وما يصاحبها من التبريد خلال امتصاص حرارة التبخير تنخفض باضطراد.

مفتاح العملية هو التحكم فى درجة غليان البيوتين خلال الخلط بنسبة معلومة مع النافتا ذات درجة الغليان الأعلى. هذا يمكن حدوث التجمد الكافى فى الخلية الأولى حيث تدخل المياه المالحة إلى المجمد لإنتاج أدنى مساحة سطحية من البللورات فى شكل بللورات حبيبية صغيرة. مع تحرك هذه ببطئ خلال القواطع المثقبة إلى الخلية إلى الناحية الثابتة حتى جهاز فصل الثلج فإنها تقابل طبقة من المبرد الأكثر برودة، حيث البيوتين ذو درجة حرارة الغليان المنخفضة المحتوى على نسبة نافتا قليلة المحلول الملحى الآن اكثر تركيزا نظرا لفقده للمياه خلال تكون الثلج، وبالتالى له درجة منخفضة، حيث المبرد ذو درجة الحرارة المنخفضة يساعد

نمو بللورات الثلج هذه العملية يتم تكرارها بالتتالى فى الخليتين التاليتين، مع الخفض المضطرد للنافتا وخفض درجة غليان المد د، مع زيادة حجم وكمية الثلج وتركيز المياه المالحة. النتيجة المطلوبة بالخفض المضطرد لدرجات الحرارة للخلايا التالية، هو زيادة وزن وحجم قطع الثلج فى حدة الحجم لجهاز التجميد.

الجدوى الاقتصادية لهذه العملية تتطلب أقصى إستفادة للبيوتين والنافتا تدوير محلول البيوتين – النافتا يصمم لتغذية الخلايا حيث درجة حرارة التجمد تتطلب تحسين تأثيرات النافتا وبالتحديد تلك الخلايا الأقرب إلى جهاز فصل الثلج (Ice Decanter) وتلك المحتوية على أقصى تركيز للمياه المالحة (Brine) ولذلك تحتاج إلى أبرد مبرد (Coldest Refregerant). فى كل خلية يدخل المبرد خلال رشاشات (Spargers) عند القاع هذا يساعد على خلط المحتوى خلال أداء الفقاعات، وبهذا يتوفر التقليب اللازم للتأثيرات الجيدة للانتقال الحرارى.

بعد إزالة البيوتين بالضخ، يضخ الثلج فى شكل مخلوط من الثلج والماء المالح إلى جهاز فصل الثلج حيث يتم فصل الثلج من المحلول الملحى. (يتم تدوير المحلول الملحى أو التخلص منه طبقاً للحاجة). يتم بعد ذلك غسيل الثلج من المياه المالحة العالقة (يتم تدوير مياه الغسيل) ودفعه فى شكل مستحلب ثلجى من المياه النقية إلى المذيب (Melter) لتحويله إلى مياه نقية منتجة.

عملية التجميد بالضغط: Pressure Freezing Process

قام إثنان من الصينيين فى تايوان بتصميم عملية جديدة للتحلية. وهذه تتوقف على الخاصية الفريدة للماء بالتمدد والتجمد طبقاً لقاعدة لوشاتليير، يذوب الثلج عند تعرضه للضغط. بمعنى آخر عند ضغط واحد جوى تنخفض درجة التجمد للثلج ٠,٠١°م. معظم المواد لها درجة تجمد (أو إزابة) عند الضغوط العالية. الفرق بين سلوك الثلج والهيدروكربونات المجمدة تحت الضغط تعاون كأساس فى تطوير التحلية بالتجميد.

عند تجميد هيدروكربون يغلى فى درجة حرارة مرتفعة وخلطه مع مياه البحر الباردة ينتج خليط من الثلج، الهيدروكربون المجمد، مياه مالحة، وهيدروكربون سائل. يتم فصل الثلج من الخليج (Decanting) بعد إزابة الهيدروكربون المجمد، ثم غسيله من الملوحة الممتصة. كل ما سبق يتم فى الضغط الجوى بدلا من الازابة المباشر للثلج يتم خلطه بسائل الهيدروكربون وتعرضه لضغط ٢٠٠٠ رطل/البوصة المربعة. يتجه لذلك يتجمد الهيدروكربون منتجا حرارة التبلر وبذلك ترتفع درجة الحراة ما بين ٢-٣°م يتم فصل المياه المنتجة من إزابة الثلج (Decnted) والمخلوط من الهيدروكربون الصلب – السائل يستخدم لتجميد ثلج أكثر من كمية أخرى من مياه البحر المبردة.

توجد فوائد كثيرة من هذه العملية. أولا باستخدام هيدروكربون ذو درجة عليا ومرتفعة (٢٥٠°) يقلل من المخاطر المصاحبة باستخدام مواد مثل البيوتين الذى له نقطة إشتعال منخفضة (Flash point). ثانياً لا يتطلب جهاز لضغط الغاز لاسالة الهيدروكربون ولا تجهيزه تفريغ لازالته بالتبخر. ولذلك يبدو أن الطاقة المستخدمة فى هذا النظام تكون منخفضة. هذا بالإضافة إلى تكون بللورات من الثلج كبيرة فى هذه العملية بما يخفض من تكاليف الغسيل. نظراً لأن معدل تكون بللورات الثلج العالى ولاتوجد خطوة للتبخير فإن المعدات تحتاج إلى حجم صغير نسبياً. ولكن لها سلبياتها. عملية المضايقة فى فصل الثلج وتكلفتها وغسيل الثلج تكون مضاعفة فى هذه الطريقة. وكقاعدة فإن جدوى التحلية تتوقف على عوامل إقتصادية وليست على عوامل فنية فقط. ولذلك لتقدير جدوى التحلية بهذه الطريقة يلزم التقييم على أساس التجارب النصف صناعية.

التبريد ببخار الماء: Refregiration by Water Vapour

بدلا من استخدام مواد التبريد بالالتصاق المباشر، استخدام بخار الماء نفسه لاحداث أثر التجمد فى مياه البحر. يتم هذا بواسطة عملية (Zarchin Colt Process) للتجميد شكل (١٥٠ – ب).

تضخ مياه البحر الباردة إلى المجمد، حيث يتم خفض درجة حرارتها تحت نقطة التجمد للمياه النقية وتقريبا إلى درجة تجمد المياه المالحة. عند هذه النقطة، يستخدم تأثير التبخير بواسطة ضاغط لضخ بخار الماء من المجمد. أداء الامتصاص من هذا يسبب تكون بخار إضافى لتوفير الاتزان بين الماء والبخار، وبذلك فإن درجة حرارة التبخير المأخوذة من مياه البحر تسبب تجميدها. الواسطة فى هذه العملية هو الضاغط الغير مكلف. هذا ويعمل بمحرك ذو طاقة عالية ومناسب للضغوط ونسبة الانضغاط المطلوبة. الضغوط منخفضة قليلاً، ينتج ضغط جوى يساوى ٠,٠٥ فقط عند نقطة تجمد مياه البحر تسمى هذه العملية (Lyphilization).

فى عملية التحلية تنتج حبيبات البللورات التى تنمو حتى ٠,٥ مليمتر فى مدة من ٢٠ إلى ٦٠ دقيقة. وتفصل بواسطة جهاز فصل الثلج (Ice Decanter) ثم يتم غسيلها، وإزابتها... إلخ. فى مرحلة الإذابة بخار الماء الذى يسحب خلال مانع للضباب (Demister) للتخلص من المحلول الملحى العالق، يقابل بلورات الثلج التبادل الحرارى الناتج يساعد ليس فقط فى إزابة الثلج، ولكن كذلك فى تكثيف البخار. وبذلك تزداد كمية المياه المنتجة. يتم ترشيد استخدام الطاقة فى مراحل الأداء الهندسى ما بين مياه البحر والمياه النقية الباردة المنتجة. ونقدا يساعد على خفض حرارة المياه المالحة قبل تبريدها وتجهيزها.

امكانيات طرق التجميد:

بالنسبة للمياه ذات ملوحة ٣٠٠٠ جزء فى المليون تعتبر عملية التجميد هى المفضلة لإزالة ملوحة المياه. عملية التجميد تحتاج إلى ضواغط وبعض المعدات والأجهزة لتنفيذ العملية. بينما التحلية بالتبخير والتقطير حيث المعدات المستخدمة مؤثرة منذ فترة طويلة ومألوفة، ولذلك فإن التحلية بالتجميد تحتاج إلى تطوير ودراسة.

التحلية باستخدام الطاقة الشمسية للتبخير :

Desalination By Solar Evaporation

تعتبر الطاقة هى أكثر عناصر التكلفة فى عمليات التحلية. ولذلك فإن استخدام الطاقة الشمسية يعتبر هاما واقتصاديا. الطاقة الشمسية التى تصطدم بسطح الأرض فى الأماكن حيث الأشعة الشمسية تصطدم مباشرة فى معظمها (بزاوية طبيعية نحو سطح الأرض) يمكن أن تكون ١٠٠٠٠ وحدة حرارية فى اليوم على القدم المربع (10000 BTU/ day / ft2). من الناحية العملية هذه القيمة تنخفض، حيث بعض أشعة الشمس تفقد بواسطة الجو والسحب ... إلخ. ولذلك ففى المتوسط تكون قيمة الطاقة الشمسية التى تصطدم بسطح الأرض ثم حسابها لتكون من ١٠٠ إلى ٢٥٠٠ وحدة حرارية فى اليوم / القدم المربع. ولذا وجد أن استخدام الطاقة الشمسية مشجع وخاصة فى الأماكن حيث كثافة ضوء الشمس عالية.

الاضافة إلى مميزات استخدام الطاقة الشمسية فإن لتحلية لإنتاج البخار بالطاقة الشمسية يتطلب فقط معدات بسيطة.

نموذج لجهاز التحلية المنزلى فى الشكل (١٥١) يبين إنتاجية رطل من المياه العزبة النقية فى اليوم / القدم المربع من سطح الحوض.

تمتص الطاقة الشمسية على القاع الأسود للحوض الضحل الذى يحتوى على مياه البحر ترتفع أبخرة المياه لتتكثف على السطح الزجاجى أو من البلاستك الذى يميل بما يسبب تدفق المياه المتجمعة إلى حوض التجمع نظراً لأن سطح التكثيف يعلو أحواض التبخير فإنه يجب أن يكون شفاف ليسمح بمرور أشعة الشمس إلى القاع المغطى بطبقة سوداء، ولكن بعض أشعة الشمس تفقد بواسطة سطح التكثيف، كما أن إرتفاع درجة الحرارة يثبط بواسطة التبريد الجوى. يزداد الفقد للطاقة الساقطة بالأتربة والأجسام التى تعلق على الجزء العلوى لسطح التكثيف بما يستوجب النظافة بإستخدام العمالة.

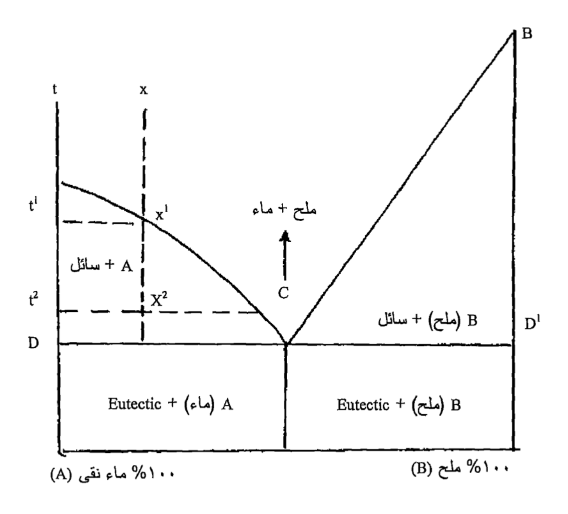
ثم عمل عدة تصميمات هندسية لزيادة كفاءة الحصول على الطاقة الشمسية وخاصة تخفيض الفقد نتيجة الانعكاس ولذلك استخدمت أسطح دائرة وكذلك أسطح دوارة، كما تمت محاولة للتسخين المسبق للمياه المالحة واستخدام جهاز التحلية متعدد التأثير (Maltiplc Effect).

فى المناطق ذات المناخ الحار مثل شمال أفريقيا والهند أمكن تحقيق ٠,٤ إلى ٠,٨ جالون فى اليوم / القدم المربع خلال العام. وهذا يعنى أن الطاقة الحرارية التى تصل إلى الجهاز تكون فى حدود ٥٠% من الطاقة الشمسية التى تصل إلى الجهاز. ولذا فإن الاعتبارات العملية قيدت الوصول إلى قيم أعلا.

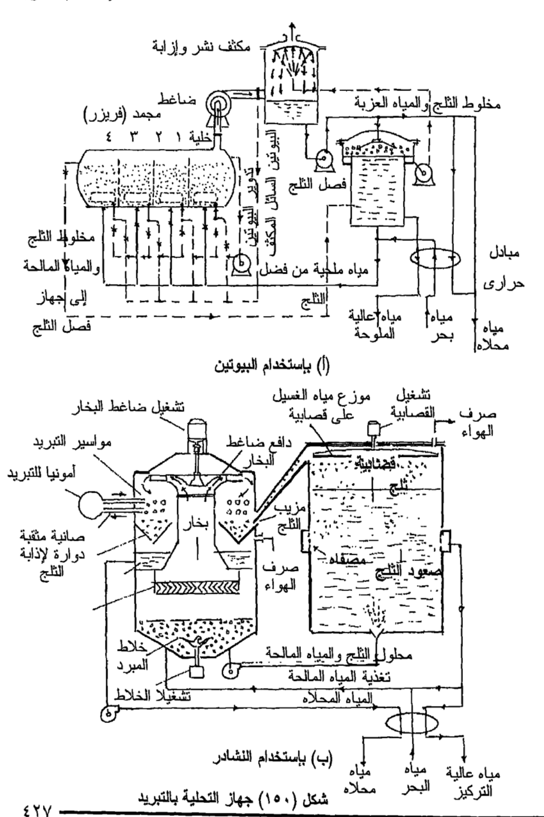
فى اليونان أنشئ على مساحة ١٣٠٠٠٠ قدم مربع مساحة للتبخير قدرها ٩٣٠٠٠ قدم مربع هذه المساحة تتكون من خلجان مزدوجة ذات مساحة ١٠ قدم × ١٣١ قدم أحواض التقطير من الألومنيوم المبطن بالمطاط الأسود (Black Butyl Rubber) سطح المكثف من زجاج النوافذ بسمك أقل قليلا من ١/٨ بوصة وبميل ٥١٢° نحو الجنوب. الأحواض ملئت بالمياه المالحة. المياه المركزة تزال من آن إلى أخر طبقاً لمعدل التبخير وهو أسبوعيا فى الشتاء وكل يومين فى الصيف. كانت الحصيلة ٢٧ جالون فى العام / القدم المربع من المياه المقطرة، وهذا يعادل ٧٠٠٠ جالون فى اليوم.

بغرض الإنتاج اليومى بمعدل ١٠٠٠ جالون يلزم من ٥٠٠٠ إلى ١٥٠٠٠ قدم مربع من سطح التبخير والتكثيف. وهذا يعنى كبر حجم الجهاز بالإضافة إلى باقى المهمات والمعدات اللازمة.

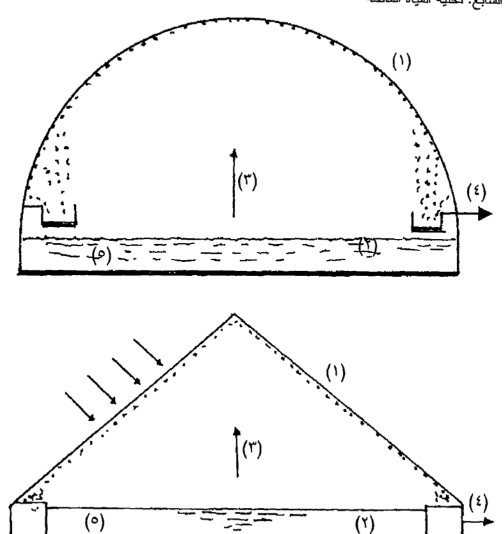
بالإختصار يبدو أن التحلية للمياه المالحة باستخدام الطاقة الشمسية تكون مناسبة لإنتاج عدة جالونات فى اليوم وليس لعدة آلاف من الجالونات. بهذا يمكن خفض تكلفة المعدات واستغلال للطاقة الشمسية وتبدو مناسبة هذه الطريقة فى المناطق الغير صناعية حيث تكاليف الطاقة مرتفعة كما أنها مناسبة لتلبية حاجات أسرة صغيرة.



شكل (١٤٩) مخطط الإتزان بين الملح والماء عند التبريد Eutectic تعنى أدنى نقطة إنصهار للمخلوط



شكل (١٥٠) جهاز التحلية بالتبريد



شكل (١٥١) نموذجين لجهاز صغير لتحلية المياه المالحة بالطاقة الشمسة

(١)غطاء شفاف من الزجاج أو البلاستك.
(٢)مياه مالحة.
(٣)بخار الماء الصاعد.
(٤)مياه محلاه.
(٥)سطح مغطى بطبقة دهان سوداء للإحتفاظ بحرارة الشمس ومن مادة لاتسيل ولا تلـــوث المياه.

كفاءة نظم المعالجة المختلفة في إزالة مختلف أنواع الملوثات

يوضح الجدول التالي بيان الملوثات وعمليات المعالجة للمياه ومدي كفاءة الإزالة لهذه الملوثات.

وقد قسمت الملوثات الي ملوثات أولية وهذه لها معايير إجبارية لما لها من تأثير علي الصحة العامة. الملوثات الثانية وهي لها معايير ولكن ليست إجبارية لما لها من تأثير علي قابلية المياه للشرب والاستخدام المنزلي. أما الملوثات المقترحة فلها معايير مخططة مستقبلا. وتعرف كفاءة المعالجة طبقاً للمستويات التالية.

ممتازة حيث نسبة الإزالة ٩٠% – ١٠٠%.

جيدة حيث نسبة الإزالة ٦٠% – ٩٠%.

مقبولة حيث نسبة الإزالة ٢٠% – ٦٠%.

ضعيفة حيث نسبة الإزالة صفر – ٢٠%.

بعض الملوثات تعالج بنسب متفاوتة. وقد لا تحقق طريقة واحدة الإزالة للتلوث ولذلك يستخدم كثير من هذه الطرق معا للحصول علي إزالة مؤثرة للتلوث.

كفاءة تقنيات المعالجة المختلفة في إزالة الأنواع المختلفة من الملوثات:

ممتاز (م) حيث نسبة الإزالة من ٩٠ – ١٠٠%

جيد (ج) حيث نسبة الإزالة من ٦٠ – ٩٠%

متوسط (س) حيث نسبة الإزالة من ٢٠ – ٦٠%

ضعيف (ض) حيث نسبة الإزالة من صفر – ٢٠%

الملوثات	التهوية	الترويب / الترسيب / الترشيح	التبادل الأيوني		عمليات الأغشية			الأكسدة الكيماوية / التطهير	الأدمصاص			إزالة العسر بالجير
			آن أيوني	كاتأيوني	تناضح عكسي Ro	الترشيح العالي Uf	إلكتروديالسيس Ed		حبيبات الفحم المنشط GAC	بودرة الفحم المنشط PAC	الألومنيا المنشطة AAL	
١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠	١١	١٢	١٣
	المكونات الأولية (ذات التأثير على الصحة العامة)											
	أ- الميكروبات والعكارة											
الكوليفورم الكلي	ض	ج–م	ج–م	ض	م	م	–	م	س	ض	س–ض	م–ج
الجارديا لامبيا	ض	ج–م	ج–م	ض	م	م	–	م	س	ض	س–ض	م–ج
الفيروسات	ض	ج–م	ج–م	ض	م	م	–	م	س	ض	س–ض	م–ج
ليجيوينلا	ض	ج–م	ج–م	ض	م	م	–	م	ض	ض	س–ض	م–ج
العكارة	ض	م	ج	ض	م	م	–	ض	ض	ض	س–ض	م
	ب- الغير عضوية											
الزرنيخ ثلاثي التكافؤ	ض	س–ج	ج–م	ض	س–ج	–	س–ج	ض	س–ج	ض–س	ج–م	س–ح
الزرنيخ الخماسي التكافؤ	ض	ج–م	ج–م	ض	ج–م	–	ج–م	ض	س–ج	ض–س	م	ج–م
الأسبستوس	ض	ج–م	–	–	–	–	–	ض	–	–	–	–
الباريوم	ض	ض–س	ض	م	م	–	ج–م	ض	ض	ض	ض	ج–م
الكاديوم	ض	ج–م	ض	م	م	–	م	ض	ض–س	ض	ض	م
الكروم ثلاثي التكافؤ	ض	ج–م	ض	م	م	–	م	ض	س–ج	س	ض	ج–م
الكروم السداسي	ض	ض	م	ض	ج–م	–	ج–م	ض	س–ج	س	ض	ض
السيانيد	ض	–	–	–	ج	–	ج	ض	–	–	–	–
الفلوريد	ض	س–ج	س–ض	ض	م	–	م	ض	ج–م	ض	م	ض–س
الرصاص	ض	م	ض	س–ج	م	–	م	ض	م–ج	ض–س	ض	م
زئبق غير عضوي	ض	س–ج	ض	س–ج	س–ج	–	س–ج	م–ج	م–ج	س	ض	م
النيكل	ض	س–ج	ض	م	م	–	م	ض	م–ج	ض–س	ض	س–ج
النترات	ض	ض	ج–م	ض	ج	–	ج	ض	ض	ض	ض	م
النيتريت	ض	ض	ج–م	ض	ج	–	ج	ج–م	ض	ض	ض	ض

١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠	١١	١٢	١٣
الراديوم	ض	ض-س	ض	م	م	-	ج-م	ض	ض-س	ض	ض-س	ض
السيليوم سداسى التكافؤ	ض	س	ج-م	ض	م	-	م	ض	ض	ض	ج-م	ج-م
السيلنيوم الرباعى	ض	س-ج	ج-م	ض	م	-	م	ض	ض	ض	ج-م	س
جـ- المواد العضوية												
كيماويات عضوية متطايرة Volatile Organic Chemicals (Vocs)	ج-م	ض	ض	ض	س-م	س-م	س-م	ض-ج	س-م	ض-ج	ض	ض-س
كيماويات عضوية مختلفةSyntharic Organic (Socs)	ض-س	ض-ج	ض	ض	س-م	س-م	س-م	ض-ج	س-م	ض-م	ض-ج	ض-س
المبيدات	ض-س	ض-ج	ض	ض	س-م	س-م	س-م	ض-ج	ج-م	ج-م	ض-ج	ض-س
الترايها لوميثانات	ج-م	ض	ض	ض	س-ج	س-ج	س-ج	ض-ج	س-م	ض-س	ض	ض
نواتج الترايها لوميثانات	ض	س-ج	م-ج	-	ج-م	س-م	ج-م	س-ج	س-م	ض-س	ض-س	ض-س
٢- الملوثات الثانية (ذات التأثير على الأستساغة والقابيلية للشرب)												
العسر	ض	ض	ض	م	م	ج-س	م	ض	ض	ض	ض	م
الحديد	س-ج	س-م	ض	ج-م	ج-م	ج	ج-م	ج-م	ض	ض	ض	م
المنجنيز	ض-س	س-م	ض	ج-م	ج-م	ج	ج-م	س-م	ض	ض	ض	م
اللون	ض	س-ج	ض-ج	-	-	-	-	س-م	م	ج-م	ج	س-ج
المذاق والرائحة	س-م	ض-س	س-ج	-	-	-	-	س-م	ج-م	ج-م	ض -س	ض-س
الأملاح الكلية المذابة	ض	ض	ض	ج-م	ج-م	ض-س	ج-م	ض	ض	ض	ض	ض-س
الكلوريد	ض	ض	س-ج	ج-م	ج-م	ض	ج-م	ض	ض	ض	-	ض
النحاس	ض	ج	ض	م	م	-	م	ض-س	س-ج	ض	-	ج-س
الكبريتات	ض	ض	ج-م	م	م	ض	م	ض	ض	ض	ج-م	ض
الزنك	ض	ج-م	ض	م	م	-	م	ض	-	-	-	ج-م
إجمالى الكربون العضوي	س	ض-س	-	ج	ج	ج-م	س-ج	ج-س	س	س-ج	-	ج
ثانى أكسيد الكربون	ج-م	ض-س	ض	ض	ض	ض	ض	ض	ض	ض	ض	م
كبريتيد الهيدروجين	س-م	ض	ض	ض	ض	ض	ض	س-م	م-ج	ض	ض	س-ج
الميثان	ج-م	ض-م	ض	ض	ض	ض	ض	ض	ض	ض	ض	ض

٣ - ملوثات مقترحة (ليس لها معايير إجبارية)												
١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠	١١	١٢	١٣
Voc s	ج-م	ض	ض	س-م	س-م	س-م	س-ج	ض-ج	س-م	ض-ج	ض	ض-س
Soc s	ض-س	ض-ج	ض	س-م	س-م	س-م	س-م	ض-ح	س-م	ض-ج	ض-ج	ض-س
نواتج التطهير	-	ض-م	ض-س	ض	ض	س-ج	س-ج	س-ج	س-م	ض-ج	-	ض-س
الرادون	ج-م	ض	ض	ض	ض	ض	ض	ض	م	ض-س	ض	ض
اليورانيوم	ض	ض-م	م	م	م	-	م	ض	س	ض-س	ج-س	ج-م
الألومنيوم	ض	س	ض	م	م	-	م	ض	-	-	-	س-ج
الفضة	س-ج	ج-م	ج	-	-	-	ض	س-ج	ض-ج	-	-	ض

المراجع
References

1- Water Treatment Plant design second Edition- McGraw-Hill-1994;

2- Water Treatment Handbook, 5[th] ed.,Degrement, France, 1979;

3- Hand Book of water Resources And Pollution Control –Harry W-GAnd Jacob Bregman, 1979;

4- Douglas Considene, Chemical and Process Technology Encyclopedia, McGraw Hill, 1975;

5- Water conditioning and waste water treatment (BSP-Indian Publications);

6- Hand book of water purification-second edition-Walter Lorch-the Lorch foundation university of Buckingham;

7- Unit Treatment Processes In Water and Waste water Engineering— I.J.Casey Welly series in water resources Engineering I – J.– Casey > Welly Series;

8- Publications of the world health organization (WHO) about guidelines of Drinking water;

9- Publications of the American water works Association (AWWA) about drinking water Science and Technology;

10- Water Lorch (The Lorch foundation) University of Buckingham- Hand book of Water Purification, Second ed.,Ellis HORWood Limited Publisher;

11- I.W.Ellms, Water Purification, McGraw-Hill,Newyork, 1982;

12- J.W.Ellms, Water Purification, McGraw-Hill, Newyork,1928;

13- W.L.Barham, J.L. Matherne, and A.G.Keller, Clarification, Sedimentation and Thickening Equipment – A Patent Review, Bulletin

no.54, Engineering Experimental Station, Louisiana State University, Baton Rouge, La., 1956;

14- K.Kinosita, "Sedimentation in Tilted Vesseles," J.Colloid. Sci., vol. 4, 1949;

15- H.O.Hartung, "Committee Report : Capacity and Loadings of Suspended Soilds Contact Units." J.AWWA, vol.43, no. 4, April 1951;

16- R.Gregory and M. Hyde, The Effects of Baffles in Floc Blanket Clarifiers, TR 7, Water Research Center, Medmenham, United Kingdom, 1975;

17- V.S.Patwardham and Tien Chi, "Sedimentation and Liquid Fluidization of Solid Particles of Different Sizes and Densities, "Chem. Eng. Sci., vol. 40, 1985;

18- K.M.Yao, "Theoritical Study of High-Rate Sedimentation, "J.Water Pollut. Control Fed., vol. 42, 1970;

19- C.Matter-Muller et.al., "Transfer of Volatile Substances from water to the Atmosphere, "Water Research, vol. 15, 1981;

20- L.J.Bilello and J.E.Singley, "Removal of Trihalomethanes by Packed-Column and Diffused Aeration," Journal AWWA, vol. 78, no. 2, Feb. 1986;

21- J.E.Crittenden et.al., An Evaluation of the Technical and Economic Feasibility of the Air Stripping Solvent Recovery Process, AWWA Research Foundation, Denver Colo., 1987;

22- P.V.Roberts and J.A,Levy, "Energy Requirements for Air Stripping Trihalomethanes,"Journal AWWA, vol. 77, no. 4, April 1985;

23- J.A.Coyle et.al., Control of Volatile Organic Contamination in Groundwater by Inwell Aeration, USEPA, April 1988.

24- قانون البيئة ٤ / ٩٤ .

25- دراسات المجالس القومية القومية المتخصصة شعبة البيئة

رقم الإيداع : ٢٠٠٢/١٦٤٤٤
ISBN : 977-281-208-8

مطابع الدار الهندسية
تليفون/فاكس : ٥٤٠٢٥٩٨



هذا الكتاب

لقد كان الدافع إلى تناول موضوع إنتاج المياه لأغراض الشرب والاستخدام المنزلي هو حاجة المكتبة العربية لمزيد من هذه الاصدارات لتواكب التقنيات الحديثة في مجال التصميم والصيانة والتشغيل ، وبما يفيد العاملين في هذا المجال وكذلك الدراسين والباحثين . وقد تم إعداد المرجع في سبعة أبواب :

- المعايير والدلائل للمياه الصالحة للشرب والاستخدام المنزلي .
- تنقية المياه للشرب .
- طرق الترسيب للمواد الصلبة العالقة .
- التخلص من المواد العالقة بالترشيح .
- المعالجات الخاصة
- تطهير المياه .
- تحلية المياه المالحة .

بهذا يكون تم مناقشة جميع التقنيات الخاصة بمعالجة المياه لأغراض الشرب الاستخدام المنزلي من مختلف مصادر المياه السطحية العذبة والجوفية والمالحة .

الله من وراء القصد ...؛

الناشر

ISBN: 977-281-208-8

ACADEMIC BOOKSHOP
EGYPTIAN JOINT-STOCK CO. CAIRO 2002